



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**TECHNICKO-EKONOMICKÁ STUDIE PĚSTOVÁNÍ  
BIOPALIV**

FEASIBILITY STUDY OF BIOFUELS SOURCES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Vít Zemach**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Martin Lisý, Ph.D.**

**BRNO 2021**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Bc. Vít Zemach**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Energetické inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Technicko–ekonomická studie pěstování biopaliv**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Existuje celá škála biopaliv z fytomasy, více či méně vhodných pro spalování. Tyto plodiny se však výrazně liší nároky na pěstování či výnosem tun z hektaru plochy. Pro provozovatele je nezbytně nutné vědět, jaké jsou náklady na vlastní produkci biopaliva. Práce bude zaměřena na problematiku získávání paliva z rostlinné biomasy a technicko–ekonomickou studii problematiky pěstování biopaliv a jejího zpracování a upravení pro spalovací technologie.

### **Cíle diplomové práce:**

Zpracovat rešerši dostupných biopaliv a jejich základních parametrů.

Zpracovat rešerši výnosů a podmínek pěstování vybraných biopaliv.

Zpracovat technicko–ekonomickou studii produkce biomasy pro spalování, včetně citlivostní analýzy.

### **Seznam doporučené literatury:**

Biomasa : praktická příručka pro pěstitele, zpracovatele a konečné uživatele biomasy, Brno: Jihomoravský kraj, [2007].

KUČERA, Zdeněk a Vladimír STUPAVSKÝ. Biomasa<sup>3</sup> = energetická, ekologická, ekonomická: odborná publikace přibližující přednosti využití všech forem biomasy : tematická informační příručka ... Praha: CEMC - České ekologické manažerské centrum, 2010. ISBN 978-80-85990-17-1.

HRDLIČKA, František. Biomasa - zdroj obnovitelné energie. V Praze: České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2003. Profesorské přednášky. ISBN 80-01-02830-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Téma této diplomové práce je Technicko-ekonomická studie pěstování biopaliv. Jedná se o studii, která zahrnuje technologii pěstování biomasy a její následnou úpravu. Součástí práce je ekonomická a citlivostní analýza, jejímž cílem je určení ceny vyráběné biomasy. Tato práce se zaměřuje na bylinná biopaliva a jejich porovnání s ostatními druhy paliv.

## **Klíčová slova**

Biopalivo, spalování, výnos tun z hektaru, výhřevnost, energie, křídlatka, amarant, šťovík, miskantus

## **ABSTRACT**

Technical-economical study of biofuel cultivation is the topic of this diploma thesis. This is a study that includes the technology of growing biomass and its subsequent treatment. Part of the work is an economic and sensitivity analysis, which aims to determine the price of produced biomass. This work focuses on herbal biofuels and their comparison with other types of fuels.

## **Key words**

Biofuel, combustion, yield of tons per hectare, calorific value, energy, reynoutria, amaranth, sorrel, miskantus

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZEMACH, Vít. *Technicko-ekonomická studie pěstování biopaliv* [online]. Brno, 2021, 64 s. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132495>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technicko-ekonomická studie pěstování biopaliv vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
*Jméno a příjmení*

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Martin Lisý Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Zároveň chci poděkovat své rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.



## Obsah

ÚVOD.....	10
1 Fytopaliva .....	11
1.1 Křídlatka .....	12
1.2 Amarant .....	13
1.3 Miskantus.....	14
1.4 Topol.....	15
1.5 Šťovík .....	16
1.6 Sláma .....	17
2 Energetická studie.....	18
2.1 Energetická studie výnosu fytopaliv .....	18
2.2 Energetická studie výhřevnosti fytopaliv .....	19
2.3 Energetická studie získané energie z fytopaliv .....	21
2.4 Spalování biomasy .....	27
3 Pěstování fytopaliv .....	29
3.1 Křídlatka .....	30
3.2 Amarant .....	31
3.3 Miskantus.....	32
3.4 Šťovík .....	33
3.5 Topol.....	34
3.6 Sláma .....	35
3.7 Shrnutí technické analýzy pěstování fytopaliv .....	36
4 Ekonomická a citlivostní analýza .....	37
ZÁVĚR.....	54
CITOVANÁ LITERATURA .....	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	60
SEZNAM TABULEK .....	61
SEZNAM GRAFŮ .....	62
PŘÍLOHY .....	63

## **ÚVOD**

V posledních letech se Státní energetická koncepce ČR značně transformuje. Postupné snižování výroby elektřiny z uhlých zdrojů paralelně zvyšuje nároky na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů. Vedle snižování koncentrace skleníkových plynů v atmosféře má využití obnovitelných zdrojů i další výhody, jako omezení závislosti na importu energie, zajištění soběstačnosti zdrojů a vznik nových pracovních míst.

Jedním z primárních zdrojů „zelené“ energie je právě biomasa. Spalování biomasy není v energetice žádným novým pojmem, ovšem stále se objevují nová paliva s vysokým potenciálem pro spalování. Cílem této práce je porovnání vybraných vysokopotenciálních paliv s již existujícími a v energetice úspěšně využívanými palivy.

Rešeršní část této práce seznamuje se základními vlastnostmi zkoumaných paliv. V rámci technicko-ekonomické studie je nutné srovnání výnosů tun z hektaru a výhřevností jednotlivých paliv, což jsou hlavní parametry určující energetickou výnosnost. Neméně důležitou součástí této studie je technická část, ve které je zahrnuta metodika získávání těchto paliv od přípravy půdy přes pěstování a sklizeň až po sušení a samotné spalování.

Následná analýza slouží k porovnání všech potřebných aspektů pro výběr vhodné plodiny pro potřeby provozovatelů. Hlavními aspekty pro výběr vhodné plodiny jsou převážně náklady na vypěstování plodiny v porovnání s energetickou výnosností. Problém při určování těchto energetických výnosností nastává jednoduše proto, že každá plodina má různé výnosy tun z hektaru při různých klimatických podmínkách, různé nadmořské výšce nebo různém typu půdy. K vhodnému výběru plodiny je tedy potřeba nahlížet komplexně z více úhlů pohledu, čemuž se věnuje poslední část práce, tedy citlivostní analýza.

## 1 Fytopaliva

Pod pojem fytopaliva zahrnujeme organické látky rostlinného původu vznikající v průběhu fotosyntézy. Fotosyntéza je chemický proces, kdy ze sluneční energie a anorganických živin vzniká rostlinná hmota a kyslík. Stejně jako je energie dodávaná slunečním zářením, tak může být z této rostlinné hmoty odebírána. Existuje více způsobů získávání energie z organické hmoty, jako např. zplyňování pro výrobu bioplynu, tato práce se však zaměřuje přímo na energii získanou spalováním fytopaliv.

### Dělení fytopaliv:

- Cíleně pěstovaná fytopaliva

Pojem cíleně pěstovaná biomasa pod sebou sdružuje všechny formy fytopaliv, které jsou záměrně pěstované pro energetické využití. Fytopaliva jsou ve formě suchého paliva pro přímé spalování nebo s vysokou vlhkostí pro následnou výrobu bioplynu.

- Odpadní fytopaliva

Odpadním fytopalivem se myslí takové palivo, které je primárně vyráběno pro účely jiné než energetické. Odpadním produktem při této výrobě zůstává energeticky využitelné palivo. Příkladem takového odpadního fytopaliva je sláma, která zůstává na poli po sklizni zrna pro potravinářské účely.

- Dřevní fytopaliva

Dřevní fytopalivo může být přímo pěstované pro spalování nebo vznikat jako jistá forma odpadního produktu v dřevozpracujícím průmyslu.

- Nedřevní fytopaliva

Nedřevním fytopalivem se rozumí byliny vypěstované pro energetické účely. Nedřevní fytomasa jako palivo má rozdílné vlastnosti oproti dřevní fytomase.

### Základní vlastnosti fytopaliv

- Vysoké výnosy sušiny z jednoho hektaru zemědělské plochy
- Vysoká výhřevnost a vhodné spalovací vlastnosti
- Možnost sklizně univerzálními zemědělskými nástroji
- Nemožnost samovolného šíření do okolí, tedy nízká invazivnost
- Vysoká odolnost proti chorobám, zaplevelení a živočišným škůdcům
- Maximální využití živin pro přeměnu v organickou hmotu
- Dlouhá životnost porostu trvalých plodin
- Možnost dalšího genetického vývoje

V dnešní době mezi úspěšně pěstovaná fytopaliva patří rychle rostoucí energetické dřeviny, jako topol či vrba, krmný šťovík, pšeničná sláma. Ovšem je zde celá řada dalších perspektivních plodin, dosahujících vysokých výnosů sušiny. Tyto plodiny jsou pro energetické účely spíše ve fázi testování. Mezi časté problémy těchto rostlin patří nízké charakteristické teploty popele při spalování, a tudíž následné zanášení kotle. Dále nízká odolnost vůči chorobám a jiným škůdcům nebo invazivnost do okolí. [1]

## 1.1 Křídlatka

Rod křídlatka z čeledi rdesnovité zahrnuje tři druhy: křídlatka japonská, křídlatka sachalinská a jejich společný hybrid, křídlatka česká. Tato rostlina pochází z mírného pásma východní Asie, odkud se do Evropy rozšířila jako okrasná rostlina parků a zahrad. Křídlatka se rychle rozšířila i do dalších částí světa. Dnes roste i v Severní Americe a Austrálii.

Právě vysoká rychlost šíření křídlatky se zdá být problematická vzhledem k životnímu prostředí. Patří mezi 100 nejinvazivnějších rostlinných druhů Evropy. K rozmnožování dochází převážně oddenky, ale v příhodných klimatických podmínkách se vyskytuje i rozmnožování pomocí semen. Samotná rostlina dosahuje výšky až 4 m. Lodyhy jsou duté a křehké, rozvětvují se až v horní polovině. Listy jsou dlouhé asi 30 cm a široké 20 cm. Na 1 m<sup>2</sup> připadá až 200 lodyh, což znamená téměř totální potlačení všech původních rostlin. Zároveň vysoká hustota porostu způsobuje zakyselení půdy, a tudíž nevhodné podmínky pro život některých živočišných druhů.

Rostlina je velice odolná vůči většině živočišných škůdců, hub a plísni. Likvidace porostů křídlatky v České republice je velice nákladná. Nejčastěji se provádí kosením porostů, což není dostatečná metoda k úplnému odstranění porostu. Účinnější a také nákladnější metody jsou mechanická orba nebo chemické použití herbicidů.

Křídlatka je však i perspektivní energetickou plodinou. Již třetí rok od založení plantáže je možné tuto rostlinu sklízet. Co se týče výnosu sušiny, patří křídlatka mezi jedny z nejvýnosnějších plodin u nás. Jelikož je křídlatka velice odolná vůči plísni, tak lze některé její látky využívat pro potlačení plísni u jiných rostlin. [2] [3] [4]



Obr. 1 Křídlatka japonská [4]

## 1.2 Amarant

Amarant neboli laskavec, obě formy jsou v češtině podobně rozšířené, je jednoletá rostlina pocházející ze Střední Ameriky. Patří k rostlinám s vysokou rychlostí fotosyntézy, tudíž dosahuje vysoké produkce biomasy. Jednoduché nevětvené lodyhy mohou dosahovat výšky až 1,8 m. Je to teplomilná rostlina, tudíž se sází až v květnu nebo začátkem června, kdy jsou teploty půdy vyšší než 10 °C. Amarant je nesnášenlivý na zamokřenou a zaplevelenou půdu, potřebuje dostatek slunečního svitu pro svůj růst. Pro vysokou produkci biomasy je zároveň nezbytné hnojení.

Velká část rostliny je tvořena zrnem. Ke sklizni se přistupuje okamžitě po přemrznutí rostliny, kdy se sníží její vlhkost, ale zároveň je opad semene minimální. Zrno amarantu je považováno za superpotravinu podobně jako quinoa nebo pohanka kvůli jeho nutričním hodnotám.

Využití pro energetické účely není zatím příliš rozšířené. Spalovat amarant se dá v kotlích na balíky slámy a řezanky, případně se palivo musí napeletovat či nabriketovat. Pěstování pro energetické účely je prozatím ve fázi testování. [5] [6] [7]



Obr. 2 Amarant ocasatý a červenoklasý [7]



### 1.3 Miskantus

Miskantus neboli ozdobnice čínská je vytrvalá rostlina původem z východní Asie. Do Evropy byla rozšířena pro okrasné účely. Ozdobnice je teplomilná rostlina, tudíž se sází při teplotách půdy nad 10 °C v květnu či začátkem června. Rostlina dosahuje vysoké produkce biomasy díky vysoké rychlosti fotosyntézy. Pevná dřevnatějící stébla dosahují výšky přes 3 m (*Miscanthus x giganteus*) listy jsou dlouhé 20–80 cm a 0,5–2 cm široké.

K zamezení nechtěného šíření rostlin do krajiny je třeba zvolit správný klon. Oddenky klonu *Miscanthus x giganteus* se příliš nerozrůstají, rostlina není agresivní. V našich podmínkách semena nedozrají, a tudíž nehrozí jejich nekontrolované šíření do okolí. Například u klonu *Miscanthus x sinensis* bylo pozorováno dozrávání semen a následné nežádoucí šíření. Tento klon je proto vhodnější spíše pro severní Evropu.

Nový porost se zakládá z rhizomů (odkopců) 3–10 cm vysokých. Sazení probíhá na jaře většinou do poloviny dubna. Ideální stáří rhizomů pro zasazení je 3 a více let, kdy mají ideální zásobu živin a je jich vytvořené dostatečné množství. Z jednoho hektaru zasazeného porostu lze získat rhizomy na dalších 10–30 ha nového porostu. Likvidace porostu lze dosáhnout mechanicky vyoráním rhizomů nebo chemicky likvidační rašícími jarními výhonky.

V prvním roce po zasazení je vhodná mechanická ochrana rostlin, chemická ochrana není většinou nutná. Porosty nejsou napadány chorobami ani škůdci. Vrstva opadaných listů vytváří na zemi vrstvu, která zabraňuje růstu plevelů.

Sklizeň je vhodná po přemrznutí kvůli nižšímu obsahu vody od listopadu až do března, kdy musí být sklizeno, aby mohly nové výhonky začít rašit. Sklizeň je možná pomocí řezaček na kukuřici. [8] [9] [10]



Obr. 3 *Miscanthus x giganteus* [10]

#### 1.4 Topol

Topoly jsou širokou skupinou energeticky využitelných stromů. Existuje hned několik úspěšně pěstovaných odrůd a jejich hybridů. Obecně jsou to stromy s rozložitou korunou dosahující výšky až 40 m. Průměr kmene dosahuje 2 m a dožívá se stáří 150 let. Listy jsou až 10 cm dlouhé, trojúhelníkového tvaru, po hranách pilovité. Kořenový systém je rozsáhlý, což znamená vysokou odolnost proti větru a zároveň možnost získávání vody z hlubších vrstev půdy.

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících růst topolů jsou klimatické podmínky. Topoly jsou teplomilné, proto v teplejších lokalitách dosahují větších výnosů. Dalším důležitým aspektem je dostatečný přísun vody, obzvláště v prvním roce po zasazení. Topoly zvládají i záplavy, které kromě vody přinášejí i velké množství živin, proto jsou často vysazovány u vodních toků. Vhodný termín výsadby, z hlediska teploty a množství srážek, má markantní vliv na výnos sušiny. Odplevelení je nutné pouze v meziřadí v prvním roce po založení porostu.

Před sadbou musí proběhnout podzimní orba a řádné odplevelení pozemku. Na jaře už ideálně orba neprobíhá, aby nedošlo k zničení přírodních kapilár v půdě. Na jaře se půda pouze kultivuje. Sadba je uskutečněna pomocí řízků z jednoletých nebo dvouletých výhonů. Tyto řízky jsou sázeny buď v jedné řadě (0,5 m od sebe) nebo ve dvou řadách (0,75 x 0,75 m). Mezi těmito řadami je vždy meziřadí kvůli přístupu pro údržbu a sklizeň porostu. Délka řízku je obvykle 20 cm a je zasazen do půdy tak, aby 3 cm vyčníval.

Sklizeň je z hlediska nároků na zemědělskou techniku jednodušší provádět v tříletém cyklu, kdy pro sklizení postačí sklízecí řezačka. Při šestiletém cyklu sklizně stromy dosahují výšky šesti metrů a průměru kmene 15 cm. Při delším cyklu sklizně je nutná větší investice do speciální techniky. Roční přírůstek sušiny je u topolů vyšší při šestiletém cyklu. [11] [12]



Obr. 4 Rašící výhon topolu a topoly vysazené do dvojřad [11]



## 1.5 Šťovík

Jedná se o energetický šťovík, tedy hybrid šťovíku pro energetické účely, Rumex OK 2, neboli podle šlechtitele šťovík Uteuša. Je to vytrvalá rostlina, která z jednoho trsu vytváří až 6 lodyh o výšce 220–280 cm. Je to velmi ranná rostlina, začíná obrůstat v březnu. V prvním roce kořen šťovíku připomíná kořen petržele, v pozdějších letech kořen mohutní a rozvětvue se. Hloubka kořenu dosahuje až 2 m, což zvyšuje odolnost rostliny proti přísuškům. Mělce kořenící rostliny nemohou využít vláhy v hlubších vrstvách půdy a více vysychají.

Šťovík není citlivý na teplotu ovzduší ani nadmořskou výšku. Na co naopak je nutno brát ohled při výběru vhodné lokality, je množství a pravidelnost srážek. Zároveň je vhodné pěstování v místech, kde je pravidelně sněhová pokrývka kvůli zásobě vody v ranných měsících vegetačního období. Porosty šťovíku jsou náchylné k zaplevelení. Především v prvních letech porostu, kdy rostlina roste spíše v kořenové části, může být zastíněna plevely. V pozdějších letech porostu rostlina převyší plevel a potlačí je svým stíněním.

K setí rostliny dochází od dubna do července, podle množství srážek ve zmíněném období. Šťovík je citlivý na suchá období trvající déle než 2–3 týdny. Při vysetí společně s jinými rostlinami, jako je například vojtěška, dochází během druhého nebo třetího roku k jeho vymizení. Příprava půdy pro pěstování šťovíku zahrnuje podzimní orbu, aplikaci herbicidů a na jaře úprava povrchu půdy vláčením, další odplevelení totálními herbicidy, prokypření rotavátorem. Mladé rostliny jsou velice choulostivé, proto se doporučuje pečlivá příprava půdy a nízká hloubka setí. Před setím je nutné i hnojení fosforem, dusíkem a draslíkem, při vysoké kyselosti půdy nutno i zavápnění půdy. Kromě seče v prvních letech porostu kvůli stínění plevely je nutná i aplikace pesticidů, aby nedošlo k ničení porostu hmyzem. V pozdějších letech je už poškození vzrostlých rostlin hmyzem minoritní záležitost a aplikace herbicidů není nutná k udržení vysokého výnosu sušiny.

Sklizeň šťovíků probíhá při vlhkosti 20–30 % již na konci června nebo v červenci těsně před dozráním semen, tedy před vysemeněním. Sklízí se celá nadzemní hmota včetně semen. Semena jako součást spalované biomasy zvyšují výhřevnost.

Likvidace porostu sestává z mechanické a chemické části. Mechanická orba je vhodná po sklizni, když je půda vyschlá. Aplikace herbicidů je naopak vhodná na zelené části rostlin během vegetačního období. [13] [14] [15]



Obr. 5 Porost energetického šťovíku Rumex OK 2 [15]



## **1.6 Sláma**

Pojmem sláma je zde myšlena pšeničná sláma. Pšenice setá je obilnina pěstovaná pro zrno a sláma jako vedlejší produkt patří mezi energeticky využitelné suroviny. Pšenice setá patří mezi nejrozšířenější obilniny na světě a je pěstována již tisíce let. Samotná rostlina dorůstá až do výšky 130 cm. Dnes je pšenice geneticky modifikovaná, aby stébla nebyla při užití moderních hnojiv příliš vysoká a nelámala se. K setí dochází buď na podzim jako pšenice ozimá, nebo na jaře jako pšenice jarní.

Kořenový systém pšenice je slabě rozvinutý, tudíž nedochází k zásobování vodou z hlubších vrstev půdy. Jarní vývoj rostliny patří k těm pomalejším, tudíž špatně konkuruje plevelům. Pro vysoký výnos je důležité vhodné počasí v období intenzivního růstu, tedy při tvorbě klasu a zrna. Vhodné počasí je míněno takové, kdy nedochází k extrémním teplotám ovzduší a půda je pravidelně zavlažována dešťovými přeháňkami.

Pro spalování slámy dnes již není nutné balíky slámy rozřezávat, nýbrž lze v kotli spalovat celé balíky. Toto spalování přináší své technologické problémy. Jedním z největších problémů spalování jsou nízké teploty tavení popele, což má za následek nalepování popele na teplosměnné plochy, a tím snižování účinnosti celého kotle.

Výhodou slámy jako energetické plodiny je dostupnost po celém území ČR. Další výhodou je nenáročné skladování, tedy možnost využití této suroviny v nejvhodnějším období pro výrobu energie či tepla. [16] [17]



*Obr. 6 Pšeničná sláma [18]*

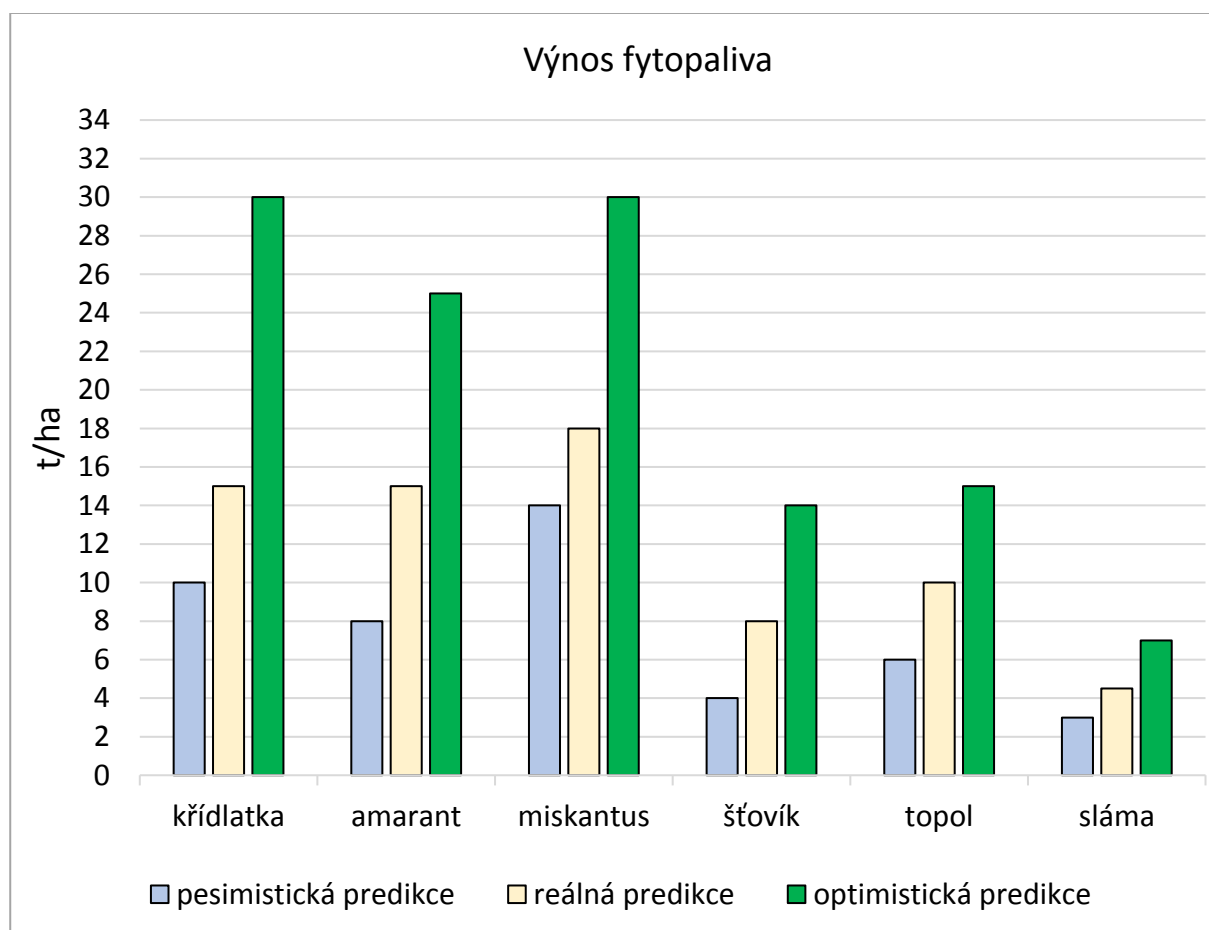
## 2 Energetická studie

Výběr vhodné plodiny k pěstování pro energetické účely je velice komplexní záležitost, ovlivněná mnoha technickými a ekonomickými parametry plodin. Jedním z nejdůležitějších parametrů je získaná energie v GJ po sklizení, dosušení a spálení jednoho hektaru pěstované plodiny. Velikost takto vzniklé energie je přímo ovlivněná vypěstovaným množstvím a výhřevností plodiny.

Velký vliv na výběr optimálního paliva má co nejpřesnější určení výhřevnosti a co nejbližší odhad objemu vypěstované plodiny. Získaná energie je lineárně závislá na obou výše uvedených parametrech, a tudíž nelze říct, jestli je důležitější zajistit vyšší výhřevnost na úkor výnosu či opačně. Hodnoty určené v této rešeršní energetické studii jsou získány z internetových zdrojů, rozptyl těchto hodnot výnosů a výhřevností je velice široký a u jednotlivých zemědělských podniků se může lišit.

### 2.1 Energetická studie výnosu fytopaliv

Na každém stanovišti při proměnném počasí a různé úrovni obhospodařování porostu se jednotlivým plodinám daří různě. Vzniká zde tedy analýza na základě kvalifikovaného odhadu a je nutno všechna z více zdrojů získaná data zahrnout do analýzy výnosu. Tato data jsou často velice rozdílná a jsou zobrazena v Graf 1. [19] [8] [20] [21] [2] [22]



Graf 1 Porovnání předběžných odhadů výnosů v [t/ha]

V Graf 1 jsou zavedeny pojmy: pesimistická, reálná a optimistická predikce. Z důvodu velkého rozptylu získaných hodnot výnosů je nutné tyto hodnoty uvažovat jako proměnnou a dále předpovídat nejpravděpodobnější hodnoty těchto proměnných. Při pesimistické predikci je uvažováno s nejnižší hodnotou výnosu a u optimistické predikce se naopak předpovídá nejvyšší hodnota výnosu. Reálná hodnota predikce není aritmetickým průměrem těchto krajních predikcí, nýbrž nejčastěji se objevující hodnota v dostupných zdrojích.

Hodnoty těchto výše zmíněných predikcí jsou uvedeny v Tab. 1.

<i>Predikce</i>	<i>Pesimistická [t/ha]</i>	<i>Reálná [t/ha]</i>	<i>Optimistická [t/ha]</i>
<i>Křídlatka</i>	10	15	30
<i>Amarant</i>	8	15	25
<i>Miskantus</i>	14	18	30
<i>Šťovík</i>	4	8	14
<i>Topol</i>	6	10	15
<i>Sláma</i>	3	4,5	7

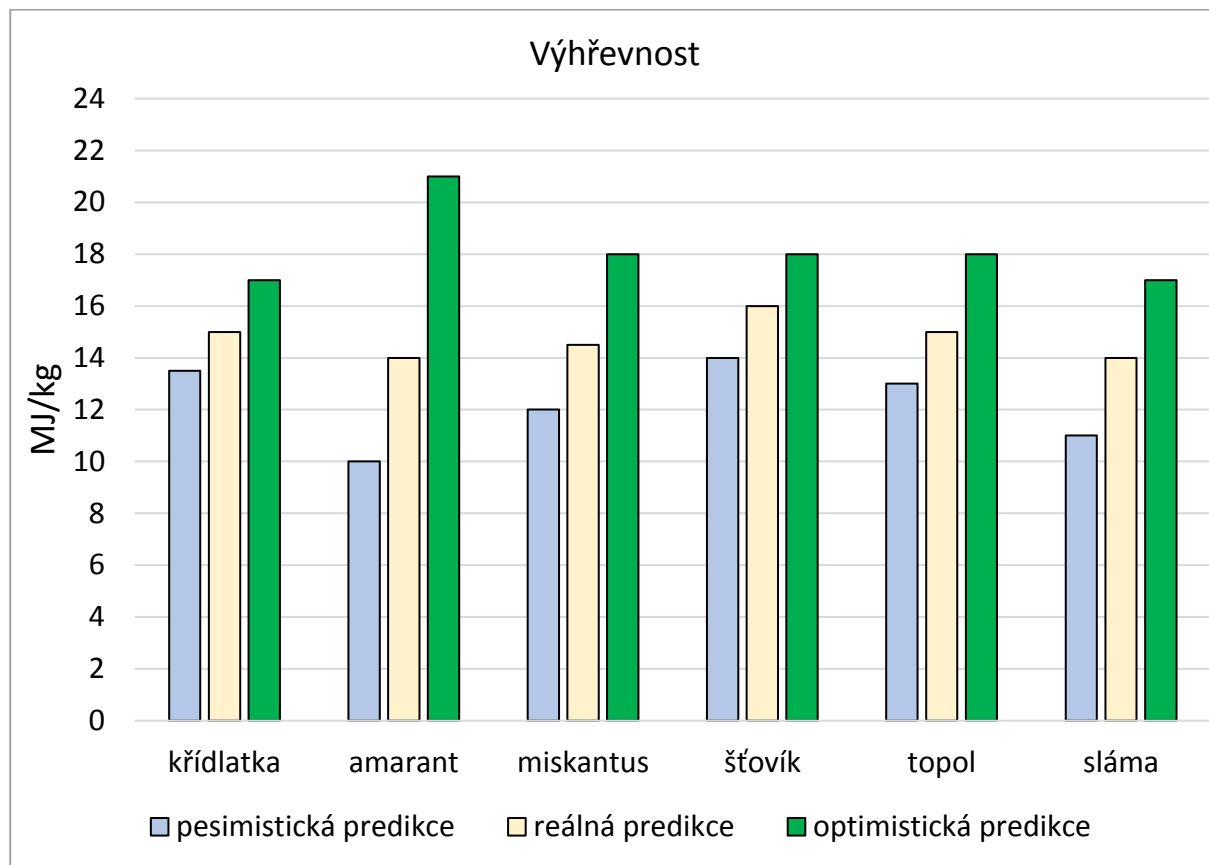
*Tab. 1 Hodnoty predikcí výnosů v [t/ha]*

## 2.2 Energetická studie výhřevnosti fytopaliv

Pro získání množství energie z 1 ha je nutné určení výhřevnosti. Výhřevnost každého z těchto fytopaliv je přímo ovlivněna vlhkostí tohoto paliva. Při nižší vlhkosti paliva jeho výhřevnost stoupá. Nedílnou součástí ekonomiky pěstování je tedy často nutnost dosoušení těchto plodin po sklizni.

Hodnoty výhřevností jednotlivých fytopaliv se zdroj od zdroje liší hlavně kvůli častému uvádění výhřevnosti vlhkého paliva. Vyšší vlhkost paliva může být způsobená dřívější sklizní, případně nevhodným uskladněním.

Pro určení celkové energetické výtěžnosti paliva je tedy společně s určením výnosu sušiny z hektaru nutno určit výhřevnost každého z paliv. Je tedy nutno zavést pevně danou velikost výhřevnosti každého paliva, tedy hodnotu reálné predikce z Graf 2. [23]



Graf 2 Porovnání predikovaných výhřevností paliv

Pro co nejpřesnější odhad získané energie z 1 ha je potřeba znát výnos sušiny a výhřevnost paliva. Výsledné hodnoty reálných predikcí pro určení energetické výtěžnosti jsou shrnuty v Tab. 2.

	Výnos sušiny [t/ha]	Výhřevnost [MJ/kg]
<i>Křídlatka</i>	15	15
<i>Amarant</i>	15	14
<i>Miskantus</i>	18	14,5
<i>Šťovík</i>	8	16
<i>Topol</i>	10	15
<i>Sláma</i>	4,5	14

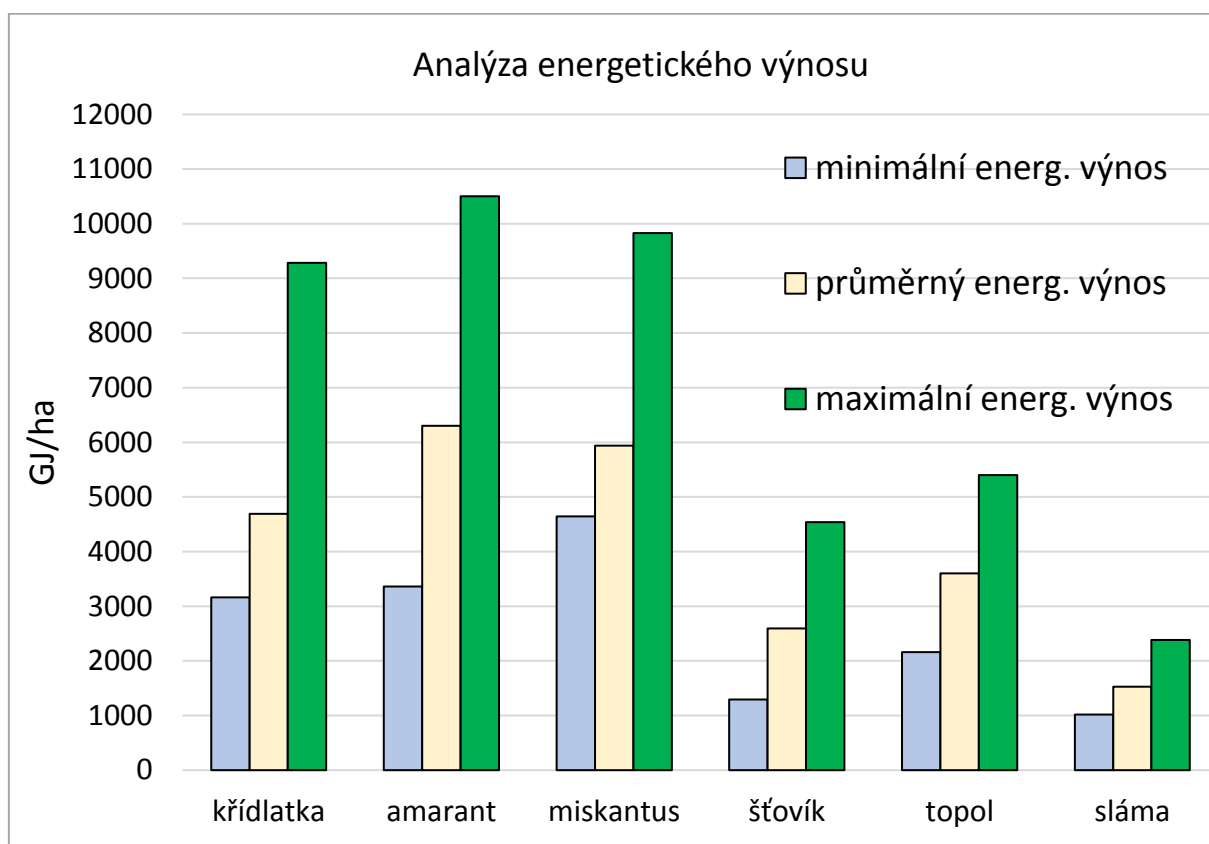
Tab. 2 Hodnoty reálných predikcí výnosů z hektaru a výhřevností paliv

### 2.3 Energetická studie získané energie z fytopaliv

Energetická výnosnost z 1 ha je u každého paliva dána jeho výhřevností a množstvím výnosu sušiny z 1 ha. Přesný odhad výnosu sušiny je velice komplexní a často téměř nereálný úkol. Proto je důležité alespoň určit mezní výnosy sušiny.

Výnosy sušiny se mohou lišit až několikanásobně mezi nadprůměrně a podprůměrně úrodným rokem. K extrémně nízkým výnosům může docházet z důvodu přemrzání rostlin, extrémního sucha, poničení škůdci, plísněmi a houbami, případně povodněmi.

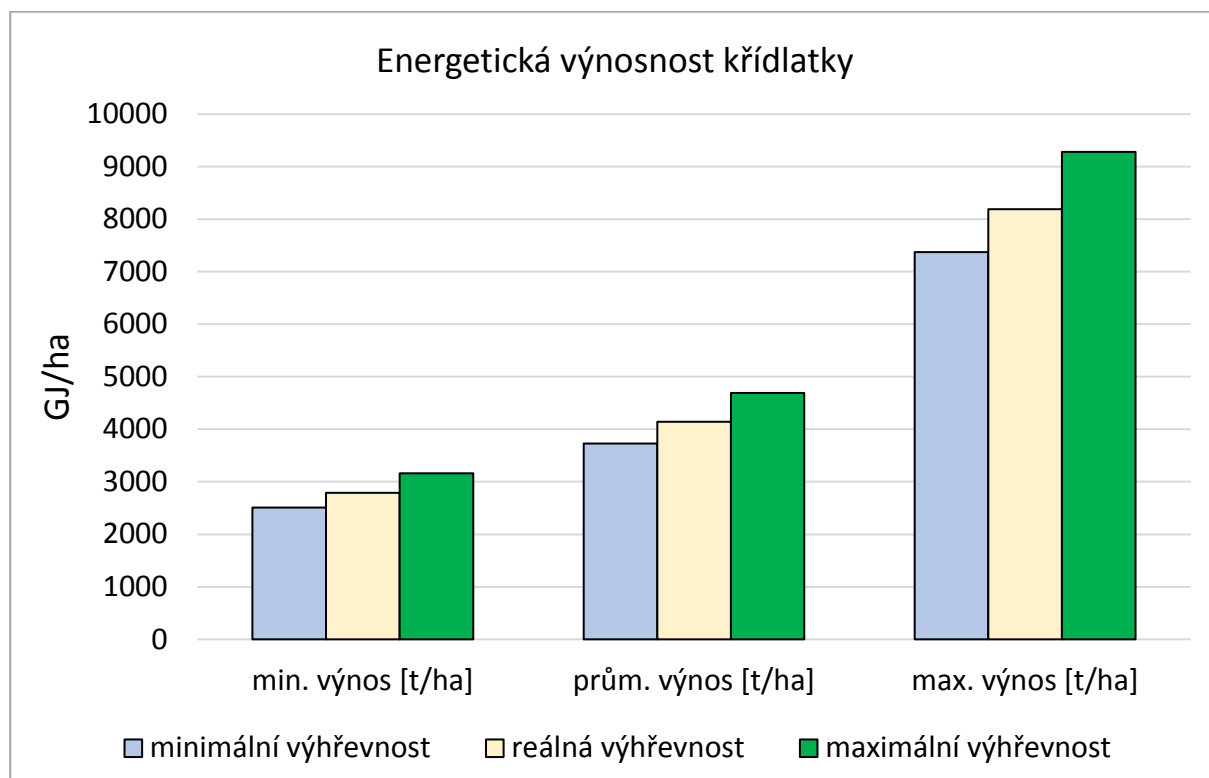
Pro potřeby provozovatelů zemědělských ploch je nutné znát právě mezní hodnoty těchto energetických výnosů, kdy pro základní ekonomickou bilanci lze uvažovat nejnižší očekávaný výnos. Tato mezní hodnota by tedy neměla být podkročena, ovšem pokud dojde zároveň s poklesem výnosu sušiny i k poklesu výhřevnosti, dojde k signifikantnímu snížení výnosu energie.



Graf 3 Porovnání energetické výnosnosti při proměnném výnosu sušiny

V Graf 3 je znázorněna změna výnosu energie na 1 ha při změně výnosu sušiny z 1 ha při konstantní hodnotě výhřevnosti (hodnota optimistické predikce). Rozdíl minimálního výnosu a maximálního výnosu energie se u většiny plodin pohybuje okolo dvojnásobku minimální hodnoty. Výnos GJ/ha je za časové období 20 let.

Například pro křídlatku je minimální hodnota při konstantní výhřevnosti 3162 GJ/ha a maximální hodnota 9282 GJ/ha, tudíž maximum energetického výnosu tvoří zhruba trojnásobek minimální hodnoty. Právě pro tuto plodinu je v Graf 4 znázorněna změna výnosu energie při proměnném výnosu sušiny a zároveň při proměnné výhřevnosti.

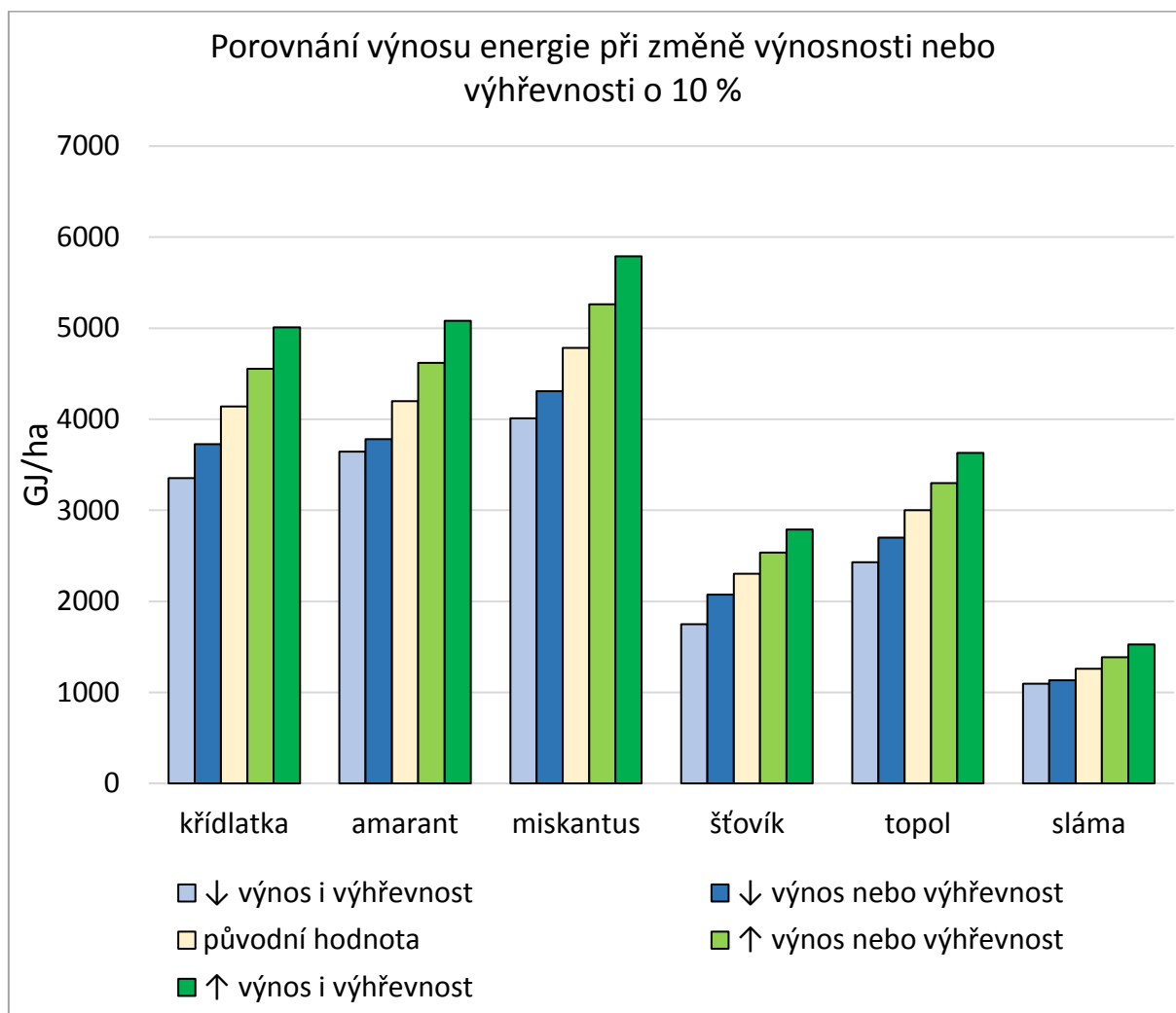


*Graf 4 Změna výnosu energie při proměnném výnosu sušiny i proměnné výhřevnosti*

Pokud uvažujeme jako proměnné hodnoty jak výnos sušiny, tak výhřevnost, dochází ke zvýšení rozptylu odhadované energetické výnosnosti. Ovšem z Graf 4 se dá říct, že predikce energetického výnosu je spíše závislá na přesném určení výnosu sušiny než na výhřevnosti paliva.

Neoptimističtější scénář uvažuje s výnosem energie přes 9 000 GJ/ha. Dosáhnout tak vysokého výnosu je ovšem téměř nemožné v reálných podmínkách, kdy je růst závislý na pravidelných srážkách a dalších výnos ovlivňujících aspektech. Jako reálný výnos energie uvažujeme 3000–4000 GJ/ha. Tato hodnota reálného výnosu není příliš vzdálená od výnosu minimálního, který se pohybuje okolo 2200 GJ/ha.

Reálná predikce je stále jen predikce, proto je nutné uvažovat s výkyvy získané energie. Taková změna může být jak záporná, tak kladná. Čím vyšší hodnoty predikujeme, tím větší výkyvy je nutno očekávat. V Graf 5 je tato závislost znázorněna.



*Graf 5 Energetická výnosnost plodin při změně výnosu sušiny a výhřevnosti o 10 %*

Výnos sušiny je proměnná, kterou lze ovlivnit vhodným výběrem lokality pěstování. Každá rostlina potřebuje jiné podmínky, jako je průměrná teplota nebo objem srážek. Teoretické hodnoty výnosů jsou proto často i dvojnásobné oproti reálným hodnotám.

Hodnoty uvedené v Graf 5 platí pro pěstování porostu po dobu 20 let. V těchto hodnotách je zároveň zahrnuta obnova pole šťovíku po 12 letech. Jednotlivé hodnoty výnosu energie jsou vypsány v Tab. 3.



	<i>Křídlatka</i> [GJ/ha]	<i>Amarant</i> [GJ/ha]	<i>Miskantus</i> [GJ/ha]	<i>Šťovík</i> [GJ/ha]	<i>Topol</i> [GJ/ha]	<i>Sláma</i> [GJ/ha]
-10 % výnos i výhřevnost	3353	3645	4009	1750	2430	1094
-10 % výnos	3726	3780	4306	2074	2700	1134
původní hodnota	4140	4200	4785	2304	3000	1260
+10 % výnos	4554	4620	5263	2534	3300	1386
+10 % výnos i výhřevnost	5009	5082	5790	2788	3630	1525

Tab. 3 Predikce energetických výnosů při proměnném výnosu a výhřevnosti

Hodnoty v Tab. 3 jsou hodnoty získané z reálných predikcí výnosů a výhřevností, tyto predikce byly vytvořeny na základě rešerše. Výstupem této rešerše je široký rozptyl výnosů i výhřevností, proto se hodnoty získané energie mohou až několikanásobně lišit.

Pokud by bylo při pěstování dosaženo hodnot reálné predikce v rozmezí 10 %, tak by nejvyššího energetického výnosu dosahovala trvalka miskantus. Při snížení výnosu i výhřevnosti o 10 % by potom hodnota získané energie za 20 let byla 4009 GJ/ha. Při zvýšeném výnosu i výhřevnosti o 10 % by potom byla hodnota získané energie na hodnotě 5790 GJ/ha, což je hodnota téměř o 50 % vyšší.

Nejnižších energetických výnosů potom dosahuje sláma pšenice ozimé, kdy se uvažuje jako odpadní biomasa. Při pěstování na zrna pro potravinářské účely zůstává sláma jako energeticky využitelný produkt.

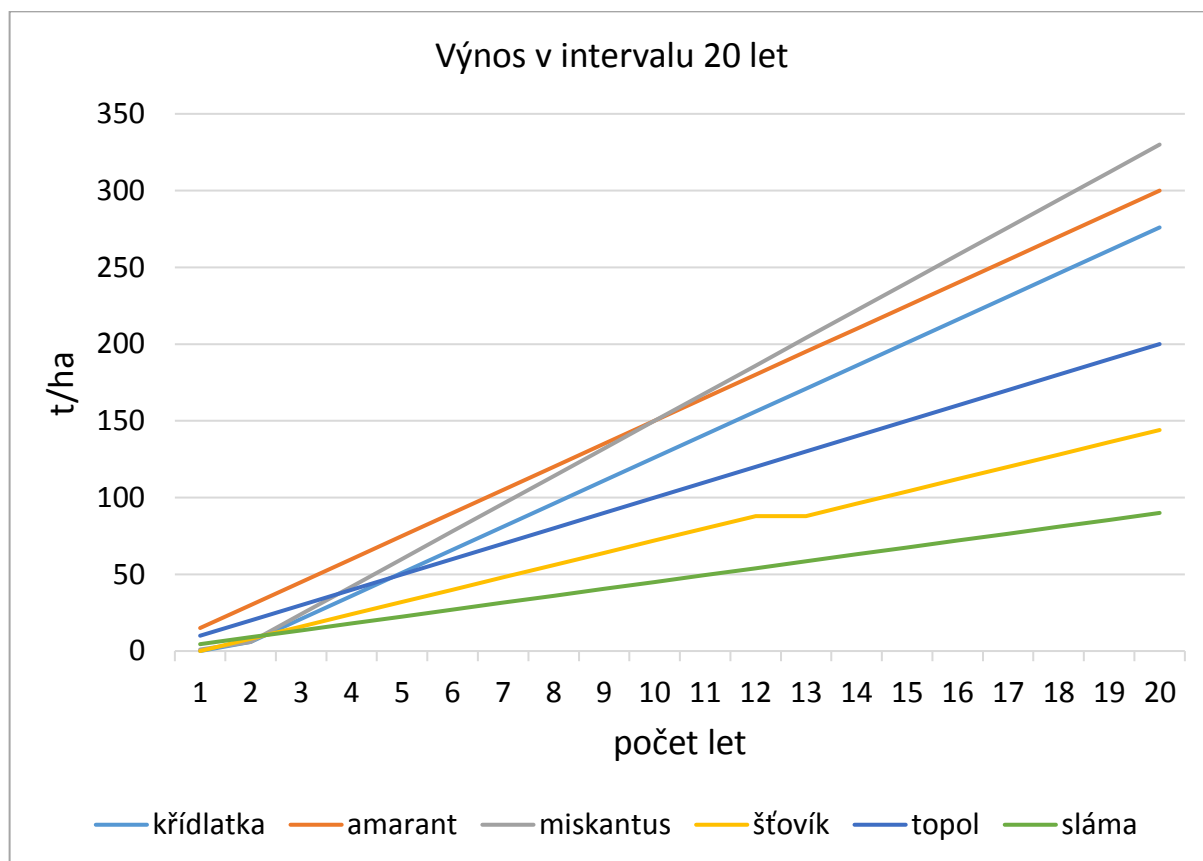
Z cíleně pěstovaných plodin nejnižšího energetického výnosu dosahuje šťovík. U této plodiny se ovšem dá očekávat stabilní výnos a hodnota reálné predikce by se neměla příliš lišit od reálné hodnoty výnosu.

Hodnoty v Tab. 3 jsou spíše orientační pro zachycení trendu změny výnosu energie. Hodnoty reálně dosahované jednotlivými zemědělskými podniky se mohou lišit, to je problematika, kterou se zabývá čtvrtá kapitola této práce, tedy ekonomická a citlivostní analýza.



Důležitou součástí ekonomiky pěstování fytopaliv je faktor času. Jednoletky mají oproti trvalkám výnos každý rok prakticky konstantní, ovšem většina trvalek začíná plodit nejdříve ve druhém roce po vysazení.

Dostáváme se tedy k problematice energetické výnosnosti za určité časové období. Při delším intervalu životnosti pole než 10 let nastává u více plodin kritický bod, kdy životnost plodiny dosáhla maxima a je nutno nově založit porost.



Graf 6 Predikce výnosu sušiny v intervalu 20 let

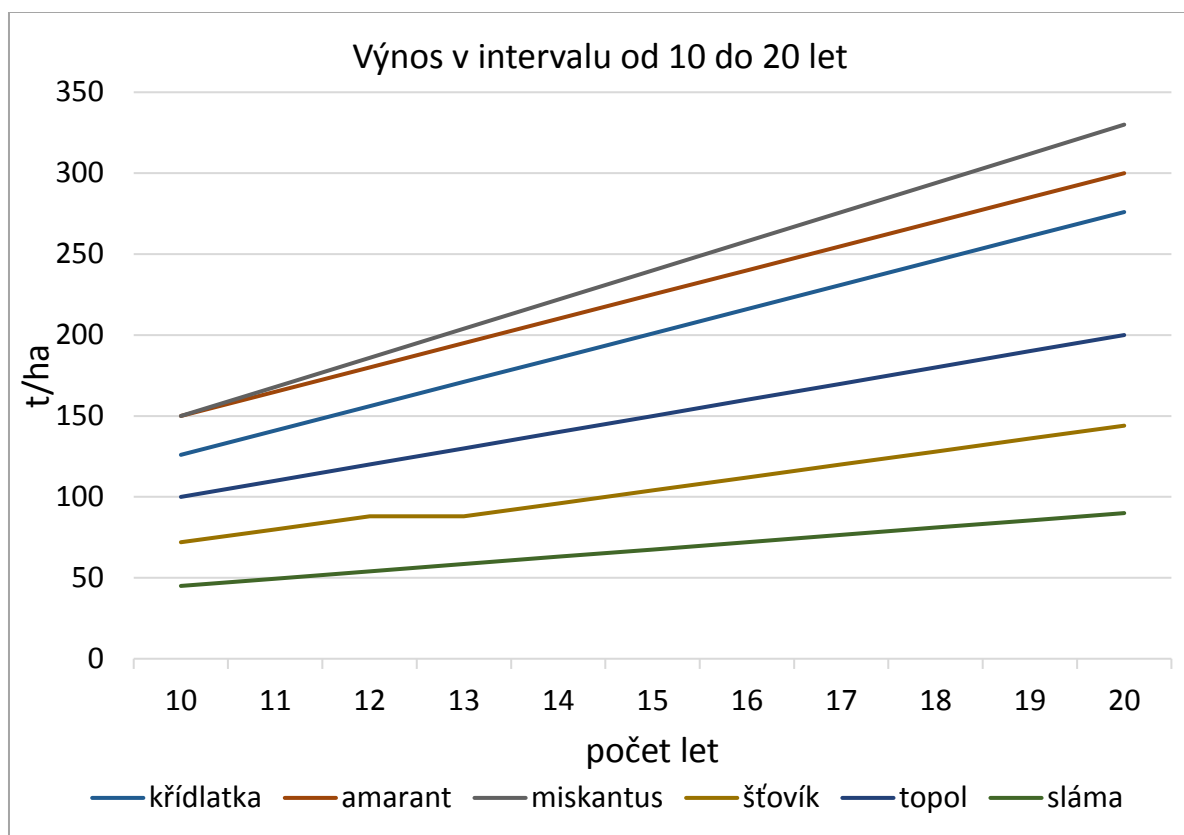
Z Graf 6, kde jsou výnosy sušiny (reálná predikce) můžeme vyčíst fakt, že pro kratší období jsou výnosy opakovaně vysazovaných jednoletých plodin vyšší než u plodin víceletých. To lze odůvodnit tím, že víceleté rostliny se nesklízí první rok buď vůbec, nebo jen ve velice nízké míře.

Dále lze v Graf 6 pozorovat okamžitý růst výnosu jednoletky amarantu, jehož výnosy jsou při opakovaném sázení v prvních letech nejvyšší. Tento trend časem opadá, jednoletka amarant je nahrazena trvalkou miskantus.

Výnosy křídlatky mohou teoreticky dosahovat hodnoty až okolo 25 t/ha. Tak vysokých výnosů by tato rostlina mohla dosahovat při intenzivním hospodářství, ale pro energetické účely je intenzivní hospodářství ekonomicky nevýhodné a na poli je reálná nižší hodnota výnosu, která se pohybuje okolo 15 t/ha.

V Graf 6 můžeme pozorovat, že po deseti letech dochází ke zlomu, kdy trvalka miskantus dosahuje vyšších hodnot výnosů než jednoletka amarant. Další důležitý bod je po dvanácti letech snížení růstu výnosů u šťovíku, to je zapříčiněno koncem životnosti pole. Šťovík se po 12 letech musí znovu zasadit, a proto je první rok po zasazení jeho výnos nulový.

Životnost porostu miskantu a křídlatky je velice důležitá proměnná. Kdyby křídlatka dokázala vydržet na jednom stanovišti déle než 20 let, tak celkové náklady na vypěstování jednoho GJ energie budou s každým dalším dosaženým rokem klesat. Miskantus v prvních letech nevytváří úplně souvislý porost, během dalších let porost houstne díky novým oddenkům. Díky tomuto houstnutí porostu se dá očekávat delší životnost porostu než například u šťovíku, který postupně řídne a po 10 letech je nutné pomalu přemýšlet nad termínem založení nového porostu.



Graf 7 Predikce výnosu sušiny v intervalu od 10 do 20 let

Dlouhodobě nejnižší hodnoty výnosů slámy naznačují, že pěstování pšenice pouze pro energetické účely by nebylo výhodné. Ovšem jako vedlejší produkt při pěstování pšenice na zrno je využití slámy pro energetické účely jistě vhodná volba.

Nadprodukce slámy je v dnešní době snižování počtu chovaných užitkových zvířat aktuální téma. Taková nadprodukce znamená možnost jiného využití, než tomu bylo historicky. Při výnosech vyšších než 2,5 t/ha slámy lze na řádku vysušenou slámu zpracovat jako palivo do formy pelet, kdy z jedné tuny lze získat 14 000 MJ. Energie spotřebovaná v naftě a v mechanizaci pro výrobu pelet dosahuje hodnoty zhruba 500 MJ/t. [24]

## **2.4 Spalování biomasy**

Spalování biomasy je specifická oblast energetiky, kdy dochází k odlišnostem oproti spalování fosilních paliv, na které je nutné brát zřetel.

Biomasa jako palivo má často vysoký obsah vody a je nutné ji před spálením dosušovat. Vysoký obsah vody v palivu má za následek sníženou výhřevnost paliva a následnou nestabilitu hoření. Spalování vlhkého paliva snižuje účinnost kotle a zkracuje jeho životnost. Biomasa obsahuje 70–80 % prchavé hořlaviny, je nutné přivádět sekundární vzduch do horní části spalovací komory, aby došlo k úplnému vyhoření paliva.

Důležité jsou i vlastnosti popele. Některé plodiny mají při spalování nízké charakteristické teploty popele (800–900 °C). Při překročení této teploty při spalování dochází k měknutí popele a jeho následnému nalepování na teplosměnné plochy, což snižuje intenzitu přenosu tepla, zvyšuje nároky na údržbu a snižuje životnost kotle. Každá jednotlivá plodina má jako palivo různé charakteristické vlastnosti.

Sledované emise při energetickém využití biomasy jsou převážně karcinogenní látky (SO<sub>2</sub>), jedovaté látky (CO) a skleníkové plyny (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, freony, CH<sub>4</sub> a stopové plyny). Vznik těchto emisí závisí na složení paliva a na použité technologii spalování.

Emise oxidů uhlíku vznikají při nedokonalém spalování. Pro spalování biomasy je charakteristický dlouhý plamen, který nesmí být nikde ochlazován. Při ochlazení plamene před dohořením by z nevyhořelého CO vznikaly saze, a tím ztráty v nevyhořelém palivu. Při nedokonalém spalování vznikají zároveň emise CO, které znamenají také ztrátu. Emise CO jsou zároveň minimalizovány z důvodu jedovatosti tohoto plynu. V důsledku toho musí být v kotli větší spalovací a dohořivací komory než u kotlů na uhlí.

Z hlediska vzniku emisí CO<sub>2</sub> je biomasa značně vhodnější palivo pro spalování než například hnědé uhlí. Při spalování biomasy sice vzniká tento skleníkový plyn stejně jako u spalování fosilních paliv, ale objem CO<sub>2</sub> vzniklý spálením nepřesahuje objem CO<sub>2</sub>, který energetické plodiny spotřebují fotosyntézou, tedy spotřebují pro svůj vlastní růst.

Pro biomasu je charakteristický nízký obsah síry. Riziko vzniku SO<sub>2</sub> a s ním spojených tzv. kyselých dešťů je téměř nulové. Jelikož biomasa obsahuje vodní páru a vodík, tak dochází spíše ke vzniku H<sub>2</sub>S.

V biomase jsou obsažené sloučeniny chloru. Důsledkem hnojení a ošetřování pesticidy a herbicidy může při spalování vznikat HCl. Tato kyselina vytváří vysokoteplotní korozi na přehřívacích kotlů. Proti této korozi se dá chránit vhodnou konstrukcí kotle. Další skupinou sloučenin chloru vznikajících při spalování jsou persistentní organické polutanty. Mezi ně se řadí aromatické uhlovodíky a dioxiny.

Emise NO<sub>x</sub> jsou u biomasy nejpodstatnější. Tyto emise se dělí na emise termické, promptní a palivové. Jelikož spalování biomasy nedosahuje příliš vysokých teplot, tak hlavním zdrojem emisí jsou palivové NO<sub>x</sub>. Ty jsou závislé na obsahu dusíku v palivu a na koncentraci kyslíku ve spalínách. Při zvyšování koncentrace kyslíku rostou i emise NO<sub>x</sub>. Jelikož jsou emise NO<sub>x</sub> při spalování biomasy zhruba třikrát vyšší než u spalování uhlí, tak je nutné zavést opatření k redukci těchto emisí. Primární opatření je zamezení vzniku těchto emisí při samotném spalování. Jako primární opatření se používá regulace množství spalovacího vzduchu, jeho stupňovitý přívod do ohniště, snížení maximální teploty v ohništi, snížení doby zdržení plynu v oblasti maximálních teplot, úprava konstrukce hořáků, recirkulace spalín a další. Jako sekundární opatření proti vzniku emisí NO<sub>x</sub> se používá selektivní nekatalytická a katalytická redukce.

Jako nejlepší technologie se pro spalování biomasy považuje spalování ve fluidním loži. Dřevo se spaluje na roštu chlazeném vzduchem s mechanickým pohazovačem a sláma se kvůli korozi a spékání spaluje na vodou chlazeném, vibračním roštu.

Výroba pouze elektřiny z biomasy dosahuje nízké účinnosti okolo 20 %, ovšem pro vytápění se účinnost přeměny energie pohybuje na téměř čtyřikrát vyšší hodnotě. Náklady spojené se spalováním biomasy jsou vyšší než u spalování paliv fosilních. Spalování biomasy směřuje k decentralizaci výroby energie v ČR, což by snížilo náklady na distribuci a ztráty vedením, tím by se tedy snížily náklady na výrobu této obnovitelné energie.

Tato kapitola byla zpracována podle zdrojů [25] [26] [27].

### **3 Pěstování fytopaliv**

Tato kapitola má za cíl vytvoření jakéhosi zjednodušeného návodu, který by měl čtenáři pomoci získat přehled o používaných pěstebních postupech. Jedná se o podrobné rozšíření rešeršních informací o jednotlivých rostlinách a doplnění o zkušenosti reálných zemědělských subjektů.

Nedílnou součástí ekonomického zhodnocení pěstování fytopaliv pro energetické účely je samotná technologie pěstování. Každá z rostlin vyžaduje individuální přístup ať už v případě volby vhodné předplodiny, určování termínu setí a sklizení nebo hnojení a odplevelování pole.

Pěstování energeticky využitelné biomasy má primárně za cíl dosažení co největšího výnosu sušiny z jednotky zemědělské plochy při minimálních finančních nákladech a maximálním výnosu. Kromě výnosů sušiny ovšem existuje další řada důležitých faktorů, které musí biomasa splňovat, aby byla vhodná pro energetické účely.

Jedním z důležitých faktorů je vlhkost sklizených rostlin. Pokud jsou rostliny při sklizni příliš vlhké, je nutné je dosušet, což zvyšuje náklady na jejich pěstování. Mezi další neodmyslitelný faktor fytopaliva vhodného pro spalování je jeho výhřevnost. Fytopaliva v této práci zmiňovaná průměrně dosahují výhřevnosti 13–16 MJ/kg, což je srovnatelná hodnota s výhřevností dřevní fytohmoty. Dále je pro spalování těchto paliv důležité, aby obsahovala malé množství popelovin, těžkých kovů, síry, chloru a dalších látek stěžujících proces spalování.

Obecně platí, že víceleté rostliny jsou z ekonomického hlediska výhodnější, protože po vysokých počátečních nákladech jsou náklady v průběhu dalších let téměř zanedbatelné a výnosy sušiny se téměř nemění. Oproti tomu stojí variabilita jednoletých rostlin, kdy může majitel zemědělské půdy kdykoli změnit pěstovanou rostlinu. Některé rostliny jsou citlivější na předplodinu než jiné, proto je důležité tuto citlivost u každé z rostlin znát a před sadbou ji zvážit.

Pro dosažení vysokých výnosů sušiny jednotlivých fytopaliv je nutné zajistit dostatečné množství živin a vody. Proto je obecně vhodné vysazovat tyto rostliny v místech, kde jsou během vegetačního období pravidelné a vydatné deště nebo v blízkosti vodního zdroje. Například rostlina miskantus potřebuje k ideálnímu růstu teoreticky 1000 mm srážek ročně, přitom se průměr srážek v ČR pohybuje mezi 600–800 mm.

[28]

### 3.1 Křídlatka

#### Příprava půdy

Křídlatky jsou vytrvalé rostliny, které mají rozsáhlý kořenový systém, díky kterému přežívají zimní období. Ideální půdní podmínky jsou tedy tam, kde je půda hluboká, dostatečně zásobená živinami a vodou. Díky až 2 m hlubokým kořenům je křídlatka schopná získávat vodu z hlubších vrstev půdy.

Mladé rostliny mohou trpět na pozdní jarní a brzké podzimní mrazy. Dospělé rostliny ovšem dobře prospívají i v chladnějších lokalitách. Pokud je půda dobře zásobená živinami, tak není nutno prvním rokem hnojit, pokud není, je vhodné přihnojit  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N. V dalších letech pro dosažení vyšších výnosů se doporučuje hnojit na jaře  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  K,  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  P a vyšší dávkou N, tedy  $100\text{--}200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Organické hnojení je možné do  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Samotná příprava půdy před sadbou se neobejde bez podzimní podmítky zbytků předplodiny a následné hluboké orby. Na jaře je nutné vyhubení plevelů a příprava půdy pro setí, tedy rozmělnění půdy do hloubky 10 cm. Plevely je nutné vyhubit pouze prvním, maximálně druhým rokem, použitím totálních herbicidů. V pozdějších letech porostu již není nutné odplevelení díky přirozenému mulči z opadaných listů.

#### Sadba

Křídlatka se nejlépe množí pomocí rhizomů, vyrýpne se počátkem jara ještě před začátkem rašení rostlin. Tento odkopek se poté sází při zakládání nového porostu. Počet takto zasazených odkopků na  $1 \text{ m}^2$  se zdroj od zdroje liší. Při sadbě 2–3 rhizomů na  $1 \text{ m}^2$  vytváří porost křídlatky v prvních 3 letech vyšší výnosy sušiny, při sadbě jen jednoho rhizomu na  $1 \text{ m}^2$  dochází k horším výnosům v prvních letech, ale v dalších letech jsou výnosy sušiny totožné jako při hustějším založení porostu. Mechanizovaná sadba je možná sázeči na cibuli nebo stroji na sadbu lesních stromků.

Další způsoby, jak množit křídlatku, jsou značně méně účinné. První možností je množení rostliny pomocí řízků ze stonků, tato metoda má asi 5% účinnost oproti 70% účinnosti množení pomocí rhizomů. Dalším způsobem množení křídlatky je pomocí semen. To, že se dokáže křídlatka samovolně množit pomocí semen, znamená, že má negativní dopad na životní prostředí. Samovolné šíření do okolí není u cíleně pěstované biomasy pro energetiku vhodná vlastnost, ba naopak invazivnost křídlatky může znamenat z hlediska legislativy zákaz jejího pěstování.

#### Sklizeň

V roce výsadby jsou výnosy natolik malé, že se rostlina vůbec nesklízí. V dalším roce už se sklízí, ale stabilní vysoký výnos sušiny nastává až od třetího roku. Vlhkost sklizené křídlatky je v podzimním termínu sklizně pro spalování příliš vysoká. Sklizeň je vhodné provádět po přemrznutí rostliny, kdy je její vlhkost už značně nižší. Zimní nebo brzká jarní sklizeň má za následek ztrátu až několika desítek procent fytomasy. Na druhou stranu jako palivo je křídlatka sklizená v zimě vhodnější pro spalování nejen díky nižšímu obsahu vody, ale i díky nižšímu obsahu chlóru a dusíku, a tedy nižším emisím při spalování.

[28]

### 3.2 Amarant

#### Příprava půdy

Amarant je rostlina nenáročná na předplodinu, lze ji tedy pěstovat po většině předplodin ideálně v teplejších kukuřičných a řepařských oblastech. Hodí se pro středně až lehce neslévavé půdy, neutrální až mírně zásadité. Amarant je citlivý na nedostatek vláhy při vcházení, později se s nedostatkem vody vyrovnává lépe a dobře s ní hospodaří. Rostlina zvládá i přechodný nedostatek kyslíku v půdě v době záplav.

Před setím je nutné řádné vyhubení plevelů jak mechanicky, tak i chemicky. Chemické hubení plevelů totálními herbicidy a počátkem vegetace mechanické hubení plevelů plečkovou kultivací. Po vzejití rostlin nastává asi 14 dní pomalý růst, kdy se tvoří kořeny a děložní listy, pokud v této době dojde k zaplevelení, je možné vláčet lehkými bránami šikmo na řádky. Vzrostlý porost (20–30 cm) je již natolik dominantní svým vzrůstem, že plevele vytlačí. Amarant většinou netrpí žádnými chorobami, proto se ochranné postřiky před chorobami většinou neaplikují.

Pro vysoké výnosy sušiny potřebuje rostlina dostatek živin. Zatímco hnojení N stačí v dávce 50–60 kg.ha<sup>-1</sup>, tak hnojení P a K je vhodné ve vyšších dávkách, a to 60–80 kg.ha<sup>-1</sup> pro P a 120–140 kg.ha<sup>-1</sup> pro K. Lze hnojit i organicky (40–60 kg.ha<sup>-1</sup>).

Příprava pole před setím má hlavně potlačit plevel, udržet v poli vláhu a zajistit stejnoměrné vcházení velmi drobného osiva. Je tedy nutné pole opakovaně vláčet a zajistit, aby byla půda správně utužena.

#### Sadba

Semeno amarantu se seje v množství 1–1,7 kg.ha<sup>-1</sup> maximálně 1,5 cm hluboko, a to do řádků nejčastěji 20–35 cm širokých, podle použitého secího stroje. Teplo a světlo je pro amarant opravdu klíčové, je tedy nutné sázet až po vyhřátí půdy nad 10 °C. Optimální růst rostliny potom nastává při teplotách vyšších než 15 °C. Při nízkých teplotách půdy (pod 8 °C) nastává riziko odumírání klíčících rostlin, a tím snížení hustoty porostu a obecně jeho špatné uchycení. Termín setí je tedy v květnu, případně začátkem června.

#### Sklizeň

Termín sklizně je značně proměnná záležitost. Hlavním důvodem je postupné dozrávání zrna. Při pěstování na zrno se sklízí rostliny při zralosti 2/3 zrna, aby došlo k co nejmenším ztrátám při sklizni. Pro energetické účely je vhodná sklizeň až po přemrznutí, což přirozeně sníží vlhkost sklizené nadzemní hmoty. Je vhodné, aby sklízecí mlátička byla nastavena jako na sklizeň máku. Zrno pro potravinářské užití se dosušuje na vlhkost 10–12 %. Pro energetické účely je vhodné využívat jako fytopalivo slámu, která je po vymlácení zrn částečně dosušená. [15] [28]

### 3.3 Miskantus

#### Příprava půdy

Jedná se o vytrvalou travu, která dosahuje výšky vzrůstu až 3 m. Rostlina dobře využívá živiny, vodu a sluneční záření. Odolnost proti chorobám a různým škůdcům je u miskantu vysoká. Kořeny rostou převážně v orniční vrstvě, největší část rhizomů je v hloubce do 15 cm, i když kořenový systém vzrostlých rostlin může dosahovat hloubky okolo 1 m.

Většina fytomasy se v prvním roce vytváří ve formě kořenů, tedy pod zemí. Rostlina je teplomilná a dokáže svými vysokými výnosy sušiny dobře využít vodu. Pro pěstování miskantu jsou klimatické podmínky důležitější než půdní podmínky. Pěstování miskantu vyhovují jako předplodiny okopaniny, luskoviny a obiloviny. Ideální půdy jsou lehčí strukturní půdy, humózní písčité s vysokým objemem podzemní vody (méně než 60 cm).

Příprava pole zahrnuje podzimní podmítku pro rozmělnění posklizňových zbytků a následnou hlubokou orbu. Na jaře je nutná příprava seťového lůžka, kde se pro mechanické sázení prokypřuje půda do hloubky 10 cm. Zároveň je na jaře nutné pečlivé odplevelení mechanicky i chemicky. Během druhého lze přistoupit k plečkování u vysoce zapleveleného porostu.

Během prvního roku se nemusí hnojit, pouze při nízké zásobě živin lze hnojit N v dávce do 50 kg.ha<sup>-1</sup>. V dalších letech jsou vhodné dávky hnojení 70 kg.ha<sup>-1</sup> pro K, 40 kg.ha<sup>-1</sup> pro P a 50–100 kg.ha<sup>-1</sup> pro N. Lze hnojit i kejdou skotu v dávce 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Během vegetačního období je vhodné alespoň 2krát zavlažit porost v dávce 30 mm.

#### Sadba

Doba výsadby miskantu z rostlin vypěstovaných *in vitro* záleží na teplotě půdy, která musí být vyšší než 10 °C, tedy během května až do poloviny července. Takové rostliny vypěstované pro sadbu *in vitro* by měly ideálně přečkat jednu zimu, než dojde k jejich zasazení. U těchto sazenic jsou zároveň vhodné kořenové baly před samotnou sadbou navlhčit a během prvních týdnů udržovat porost zavlažený.

Porost zakládáný z rhizomů dlouhých 3–10 cm (čím delší, tím lépe se ujímají) je nutné sázet dříve, než začnou oddenky pučet, kvůli mechanickému poškození výhonků při sadbě (to znamená nejpозději do konce dubna). Rhizomy je vhodné vyorávat na jaře kvůli větší spolehlivosti technologie sklízeců a přes zimu nehrozí vyschnutí. Rhizomy určené pro sadbu lze vyorávat rotačním kultivátorem a sbírat upravenými sklízecími na brambory (vhodné u písčitých půd, kde lze rhizomy oddělit od půdy).

Sadba lze provádět pomocí sázečů na cibule nebo stroji na výsadbu lesních stromků. Hustota výsadby se pohybuje mezi 10–20 tisíci ks.ha<sup>-1</sup>. Velice důležité je počítat s naprosto reálnou hrozbou vymrznutí sazenic během první zimy. Přes zimu je vhodné porost pokrýt např. slámou ve vrstvě alespoň 100 mm (zhruba 3 t.ha<sup>-1</sup>). Efektivnější možnost je výsadba rostliny, která přes zimu jistě vymrzne, a tím vytvoří ochranný mulč, vhodná je např. hořčice bílá.

#### Sklizeň

Sklizeň se provádí řezačkami na kukuřici ve druhém roce od vysazení od listopadu až do března, tedy po vymrznutí rostlin. Sklizenou slámu je vhodné okamžitě peletizovat nebo lisovat do balíků pro snížení objemu potřebného pro skladování. Při sklizni v únoru je vlhkost rostlin zhruba 24 %, ale ztráta fytomasy přes zimu dosahuje až 30 %. Tato ztráta ovšem zůstává na poli jako mulč, což je pro další růst porostu dobře. Ekonomicky lze spekulovat, jestli se sklizeň na jaře vyplatí oproti dosoušení podzimní fytomasy. V ČR se praktikuje jarní sklizeň.

[28] [8]



### 3.4 Šťovík

#### Příprava půdy

Šťovík patří mezi rostliny s vysokým potenciálem výnosu sušiny, pokud jsou podmínky pro jeho růst ideální. Mnohem důležitější jsou podmínky klimatické oproti půdním podmínkám. Šťovík snáší téměř všechny půdy kromě zamokřených a kyselých s  $\text{pH} < 5,0$ . Ideální jsou středně těžké humózní a vodopropustné půdy. Jelikož je dobré prospívání rostlin závislé na dostatečné zásobě vody, jsou lehké a kamenité půdy méně vhodné. Dostatečné a pravidelné zásobení vodou je důležité především počátkem vegetačního období. Jelikož je rostlina velmi ranná, využívá dobře vodu, zadrženu během zimního období. V ČR dobře prospívá v Českomoravské vrchovině, kde nejsou půdy nejvýživnější ani teploty nejsou nejvyšší, jsou zde ovšem pravidelné a vydatné srážky.

Předplodiny vhodné pro pěstování šťovíku jsou téměř všechny, ideálně luskoviny a obilniny. Méně vhodné jsou řepa a brambory kvůli vyšší míře zaplevelení. Ideální je, pokud předplodina byla hnojena organicky. Vhodné je hnojení organicky na podzim před založením porostu, případně na jaře hnojení N v dávce  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . V dalších letech není hnojení nutné vůbec, případně regenerační hnojení N, P a K. Porost šťovíku je v prvním roce náchylný na utlačování plevely, je tedy nutné mechanické odplevelení. Před setím je vhodné i ošetření herbicidy. V dalších letech již vzrostlý porost šťovíku všechny plevely potlačí.

Příprava půdy začíná kvalitní podzimní orbou. Jarní příprava spočívá převážně v pečlivém (ideálně i vícenásobném) odplevelení podzemku. Prevence zaplevelení před zapojením porostu spočívá v sečení a mulčování plevelu ve výšce 3–5 cm. Pro pěstování se od přípravy půdy až po sklizeň používají klasické zemědělské postupy, stejně jako u klasických zemědělských plodin, jako např. u řepky.

#### Sadba

Založení porostu probíhá na jaře, je možné ho posunout až do května nebo poloviny června, pokud jsou příhodné srážkové podmínky. Do hloubky 1–1,5 cm se seje  $5\text{--}8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  osiva. Šířka řádku se uvádí mezi 12,5–25 cm.

#### Sklizeň

Sklizeň se pro účely spalování provádí jednou ročně začátkem července, kdy jsou rostliny dostatečně zralé a nedochází k příliš velkému vydrolení semen. Velkou výhodou šťovíku je jeho nízká vlhkost, kdy je při sklizni v červenci už dostatečně suchý pro spalování. Okamžitě po sklizni je vhodné alespoň jednou za 2 roky provést vláčení, aby se udržela ideální hustota porostu. Sklízí se sečením na řádky a následným slisováním do balíků nebo silážní řezačkou.

[28] [14]

### 3.5 Topol

#### Příprava půdy

Topol černý je světlomilná dřevina, která potřebuje značné množství vody, kterou je schopná získávat z velké hloubky díky rozsáhlému kořenovému systému. Klimatické podmínky jsou pro růst topolu důležitější než podmínky půdní. V teplejších oblastech s delším vegetačním obdobím a vyššími letními teplotami dosahují stejné odrůdy topolů vyšších výnosů než v oblastech chladnějších. Existují ovšem kříženci dobře prosperující i v chladnějších oblastech. Nejdůležitějším aspektem pro rychlý růst je ovšem voda. Topoly dobře prospívají v okolí vodních toků a dobře snáší i několikadenní záplavy, které zároveň do půdy doplňují živiny.

V prvním roce je kořenový systém náchylný na nedostatečně prokysličenou půdu. Při výběru lokality pro založení porostu je vhodné vybírat půdu neutrální případně lehce kyselou. Topol dobře reaguje na provápněnou půdu uhličitanelem vápenatým, který přispívá k vytvoření lepší půdní struktury a jejímu provzdušnění.

Při přípravě pole je důležité odplevelení, ideálně několikanásobné, počínaje už předchozím rokem společně s hlubokou orbou. Na jaře by už orba neměla proběhnout, aby nenarušila půdní kapiláry. Při chybném odplevelení v předchozím roce může ovšem nutnost jarní orby nastat. Pokud je pozemek připravený vhodně, je na jaře nutná kultivace půdy do hloubky zhruba 15–20 cm. Během prvních tří let je nutné zajistit meziřádkovou kultivaci s ručním okopáváním mezi jednotlivými rostlinami. Později rostlina všechny plevele zastíní a mulčem z opadaných listů vytlačí.

#### Sadba

Termín výsadby závisí na půdních podmínkách a na tom, zda je vhodné počasí. Ideálně se porost zakládá brzy na jaře v průběhu dubna až května. Založení porostu se provádí pomocí jednoletých nebo dvouletých řízků z výhonů. Takový řízek musí obsahovat alespoň tři pupeny, jeho délka se pohybuje okolo 20 cm a jeho průměr mezi 0,5–2,5 cm. Řízky dobře reagují na namočení do vody den před sadbou (kvůli vysychání během jejich skladování).

Používají se dvě schémata výsadby. První možností je sadba jednořádková ve sponech ve vzdálenosti 0,3–0,5 m a mezi jednořádky 1,5–3 m. Druhé schéma je dvouřádkové, kde se sází 0,75 x 0,75 m a mezi řádky opět 1,5–3 m. Volba jednotlivých schémat závisí na používané technologii údržby, převážně technologii odplevelování. Výsadba do dvojřádků snižuje užitou plochu na minimum, čímž snižuje i náklady na údržbu. Při sadbě do dvojřádku ovšem nastává problém s nutností ručního nebo jen částečně mechanizovaného odplevelení. Pro více zaplevelené pozemky je tedy vhodnější výsadba do jednořádků. Řízky by neměly vyčnívat více než 3 cm, tak aby vrcholový pupen byl přímo na povrchu. Lze sázet mechanicky pomocí lesního sázeče na stromky.

#### Sklizeň

Doba, po které je vhodné topoly sklízet, je ideálně 6 let. Takto staré stromy dosahují ovšem výšky téměř 6 m a průměru kmene 15 cm, což by vyžadovalo speciální mechanizaci pro její sklizeň. Nutno říct, že za menších výnosů, ale dostupnou zemědělskou technikou, lze sklízet již po 3 letech. V této kratší době obmýtlí lze sklízet řezačkou.

[11] [29]

### 3.6 Sláma

#### Příprava půdy

U pěstování pšenice ozimé je nutno hned na začátek říct, že její pěstování pro energetické účely je až sekundární záležitost. Pěstování pšenice je primárně zaměřeno na zisk co největšího objemu zrna. Jako vedlejší produkt po výmlatu zrna tedy zůstává sláma, kterou lze dále energeticky zpracovat.

Vhodné předplodiny jsou jeteloviny, luskoviny, olejnin a okopaniny. Oproti tomu po obilninách a kukuřici se pěstování nedoporučuje a je nutné volit speciální odrůdy a změnit agrotechnický postup pěstování.

Ochrana proti plevelům se provádí nejpozději 3 dny před setím aplikací herbicidu Roundup Rapid, čímž dojde zároveň k ochraně před kořenovými a dalšími chorobami. Zároveň se výrazně sníží množství potravy pro škůdce. Jednou za vegetaci je vhodné aplikovat fungicidní opatření.

Pokud je půda nekvalitní s nízkým obsahem živin, je vhodné přihnojení dusíkem nejpozději v termínu setí. Při zaorávce posklizňových zbytků lze aplikovat základní hnojení v dávce až 40 kg.ha<sup>-1</sup> N. Na jaře se provádí regenerační hnojení 20–30 kg.ha<sup>-1</sup> N, kdy je hnojivo pro slabé rostliny velice vítané. Hnojí se brzy ráno, když je půda ještě zmrzlá, pokud je příliš promrzlá nebo je na poli sněhová pokrývka, tak se hnojení nesmí provádět. Kvalitativní hnojení v dávce 20–30 kg.ha<sup>-1</sup> se provádí v druhé vegetativní fázi růstu, kdy rostlina vytváří klasy a toto hnojení přímo ovlivňuje velikost a jakost zrna. Zde je nutná opatrná volba hnojiva, aby nedošlo k popálení již vzrostlé pšenice. Kromě hnojení N je vhodné hnojení K, P, Mg a S.

Příprava půdy pro setí probíhá většinou za sucha. Po středně hluboké orbě (22 cm) je důležitá kvalitní předseťová příprava. Důležitou součástí této přípravy je rozmělnění hrud a minimalizace přejíždění mechanizace přes pole. Vhodné je využití smyků a bran nebo kombinátorů a hrudořezů.

#### Sadba

Na sadbě ozimé pšenice je velice důležitý termín setí. Ideální termín setí je tedy začátkem října, nejpozději do 10. října. Při nevhodných podmínkách pro setí lze sázet i později, ale je nutné vybrat odrůdu odolnější k pozdnímu výsevu. U těchto odolnějších odrůd lze očekávat ztráty výnosu mezi 5–8 %. U odrůd nevhodných pro pozdní výsev se ztráty mohou pohybovat v desítkách procent.

Seje se obvykle do hloubky 4 cm, tato hloubka je ovlivněna přípravou půdy a půdní vláhou. Velikost výsevu se pohybuje mezi 3–4 miliony klíčících semen na hektar. Šířka řádků pro setí je 12,5 cm.

#### Sklizeň

Zrno pšenice nedozrává rovnoměrně, existují čtyři stadia zralosti, kdy posledním z nich je zralost žlutá. V této fázi zralosti se provádí sklizeň zrna a sláma jako odpadní produkt se nechává minimálně 24 h v řádcích na poli. Poté se slisuje do balíků. Za sucha dosahuje sláma vlhkosti zhruba 14 %. Pokud sláma zmokne, tak je za slunečného a větrného počasí za tři dny opět suchá. Po slisování do balíků se na rovné ploše balíky poskládají do stohu, který zajišťuje maximální vlhkost slámy právě 14 %. Stoh musí být staticky pevný kvadratického tvaru, všechny balíky musí pevně doléhat a musí být při výstavbě kříženy neboli provazovány. Stoh se může zakrýt plachtou nebo může být zasypán volnou nesvázanou slámou.

[24] [30]

### **3.7 Shrnutí technické analýzy pěstování fytopaliv**

Pro všechny dříve zmíněné plodiny platí, že příprava pole před setím závisí na předplodině, kdy jsou některé rostliny méně náchylné na předplodinu než jiné. Obvykle je pro energetické byliny vhodná předplodina taková, po které není pole příliš zaplevelené. Před založením porostu je nutná podzimní orba a jarní odplevelení.

Dalším společným faktorem je náchylnost na suché období, tedy na dostatečné zásobení vodou. Vhodné jsou zemědělské plochy s dostatečnou zásobou podzemní vody, případně s možností zavlažování při extrémně suchých podmínkách.

Některé rostliny mohou být zároveň náchylnější na nízkou teplotu půdy a na její případné vymrzání. Reálnou hrozbou vymrzání trpí v prvním roce porosty miskantu. Amarant je také vhodné sázet do již vyhřáté půdy. Proti vymrzání porostu miskantu je vhodné vytvoření podzimního mulče nějaké jiné rostliny na povrchu pole. Vhodnou plodinou může být odpadní sláma, případně nějaká vymrzající plodina, jako hořčice.

Sklizeň těchto rostlin obecně probíhá při co nejnižší vlhkosti. Sláma pšenice se jako odpadní produkt při primární produkci zrna sklízí až při plné zralosti zrna. Šťovík se sklízí již v červenci, kdy vlhkost řezanky dovoluje přímé spalování a zároveň nedochází k vydrolení semen, která zvyšují výhřevnost šťovíku jako fytopaliva. Ostatní plodiny je vhodné sklízet až po přirozené desikaci mrazy, tedy po zimě, v období února až března. Sklizeň se provádí pomocí zemědělské mechanizace, ruční sklizeň by se negativně projevila na ceně vyrobené biomasy a zvýšila by tak její cenu.

#### **4 Ekonomická a citlivostní analýza**

V této ekonomické a citlivostní analýze jsou zpracované informace získané od jednotlivých zemědělských podniků. Hodnoty výnosů sušiny a další důležitá data se často liší od hodnot teoretických, které byly v rámci rešerše získávány z různých veřejně dostupných, převážně internetových zdrojů.

Cílem této ekonomické a citlivostní analýzy je co nejpřesnější určení ceny vyrobené biomasy. Dále vyjmenování a popsání všech důležitých aspektů podílejících se na výsledné ceně biomasy. Neméně důležitým výstupem této kapitoly je porovnání ekonomiky pěstovaných fytopaliv s jinými, běžně dostupnými a používanými palivy.

V této ekonomické a citlivostní analýze se vyskytují pouze energetické byliny pro cílené pěstování. Cílem rešerše bylo získání jakéhosi širšího povědomí o problematice pěstování obecně, a proto do ní byla pro porovnání zahrnuta i dřevní a odpadní biomasa. Dřevní a odpadní biomasa zde již není blíže zpracovávána. Důvodem pro vyřazení topolů a slámy z následující části práce bylo zadání této práce, které vychází z projektu Energetického ústavu Vysokého učení technického v Brně, kdy je pro tento projekt vyžadována analýza vysokopotenciální cíleně pěstované bylinné biomasy.

Předností jednoletých rostlin je, že jsou určeny pro rychlou produkci. U většiny vytrvalých plodin jsou počáteční náklady vyšší (založení porostu) a první sklizně nebývají plnohodnotné. Porost většinou dosahuje plnohodnotného výnosu ve třetím roce. Vynaložené náklady se v čase snižují. Díky kontrolovanému rozrůstání poskytnou vyšší a vyrovnanější výnosy, tím i lepší energetickou efektivitu než rostliny jednoleté. Poměr vložené a získané energie, tj. celková energetická efektivita, je u vytrvalých plodin lepší než u rostlin jednoletých.

Ekonomika rostlinné biomasy má mnoho proměnných, např. proměnlivost počasí. Obecně lze říct, že na ceně biomasy se podílí náklady na pěstování a sklizeň, náklady na zpracování produktu a dotace. Výsledným ekonomickým ukazatelem jsou tedy náklady na měrnou jednotku hmotnosti a dále náklady na jednotku energie v dané formě biopaliva.

UKAZATEL	JEDNOTKA	KŘÍDLATKA	AMARANT	ŠŤOVÍK	MISKANTUS
		řezačka	řezačka	řezačka	řezačka
Počet sazenic/osiva na hektar osázené plochy	ks/ha kg/ha	10000	2	5	10000
Cena sazenice/osiva	Kč/ks Kč/kg	6	1200	1600	6
Náklady na sadbu	Kč/ha	60000	2400	8000	60000
Podmítka	Kč/ha	650	650	650	850
Orba	Kč/ha	1250	1250	1250	1300
Příprava pole pro sadbu	Kč/ha	600	600	600	1300
Sázení (bez sadby)	Kč/ha	2500	1300	1300	9500
Válení po zasetí	Kč/ha	0	450	450	550
Organické hnojení	Kč/ha	0	2000	800	0
Anorganické hnojení	Kč/ha	2600	2600	2600	0
Jiné práce	Kč/ha	0	0	0	0
Náklady na přípravu pole	Kč/ha	7600	8850	7650	13500
Jiné náklady	Kč/ha	0	0	0	0
Náklady na založení pole	Kč/ha	67600	11250	15650	73500
Sklizeň - řezačka	Kč/ha	1500	1500	1500	1500
Drcení slámy při sklizni	Kč/ha	0	0	0	0
Lisování balíků - kulatý	Kč/ha	0	0	0	0
Lisování balíků - hranatý	Kč/ha	0	0	0	0
Posklizňové proorávání	Kč/ha	0	650	650	0
Posklizňová okopávka, odplevelení	Kč/ha	600	600	600	400
Náklady na sklizeň	Kč/ha	2100	2750	2750	1900
Organické hnojení	Kč/ha	0	2000	800	0
Anorganické hnojení	Kč/ha	500	2600	2600	2500
Údržba ochranného pásma	Kč/ha	700	0	0	0
Jiné náklady	Kč/ha	0	0	0	0
Náklady na pěstování	Kč/ha	1200	4600	3400	2500
Výnos zrna	t/ha	0	3	0	0
Cena zrna od výrobce	Kč/t	0	15000	0	0
Tržba z produkce semene	Kč/ha	0	45000	0	0
Dotace 1	Kč/ha	0	0	0	0
Dotace 2	Kč/ha	0	0	0	0
Celková dotace	Kč/ha	0	0	0	0
Mechanická likvidace (zaorání...)	Kč/ha	2500	1600	1600	2500
Chemická likvidace (použití herbicidů)	Kč/ha	15000	0	5000	7000
Likvidace porostu	Kč/ha	17500	1600	6600	9500

Tab. 4 Porovnání nákladů na pěstování biomasy z energetických bylin

Pro určení výsledné ceny vypěstované biomasy je nutné co nejpresnější určení ceny jednotlivých nákladů na přípravu pole, sadbu, sklizeň a na údržbu porostu. Některé z těchto nákladů mají na výslednou cenu biomasy větší vliv než jiné, v této kapitole je tedy přesně určeno, na které položky je nutné dbát zvýšené pozornosti.

Data použitá v této kapitole pochází od zemědělců přímo se zabývajících pěstováním těchto energetických plodin. Tato data se liší od rešeršně vytvořené reálné predikce, tato změna je zobrazena v Graf 9. Kromě pěstování šťovíku se jedná o ojediněle pěstované rostliny, a tedy i získaná data se mohou při rozšíření pěstování lišit podle lokality a intenzivnosti pěstování. Například podle informací od zemědělce pěstujícího miskantus na svahovitém pozemku jsou výnosy v nižší části svahu rozdílné od výnosů na kopci. Dochází tedy ke kolísání výnosu i na lokální úrovni.

V Tab. 5 je blíže rozepsáno, které náklady a zisky jsou pro výslednou ekonomickou kalkulaci důležité. Pokud začneme od začátku, tak zároveň začneme tím nejdůležitějším aspektem pro víceleté rostliny, a tím jsou náklady na založení pole. Tyto náklady jsou přesně specifikované v Tab. 4.

Založení pole pro víceleté rostliny většinou přináší hlubokou přípravu půdy, která ještě sama o sobě není dražší než u jednoletých rostlin, kde se hloubka orby může lišit. Kromě orby se provádí podmítka, příprava pole pro sadbu a po samotném sázení se některé plodiny válčují a poté hnojí. Z Tab. 4 lze vyčíst, že u křídlatky 90 % nákladů na založení pole a u miskantu 80 % nákladů tvoří náklady na sadbu. Při zvýšení ceny sazenic ze 6 Kč/ks na 7 Kč/ks by se výsledná cena získané energie z 1 ha zvýšila o 10 %. Oproti tomu by dvojnásobná cena podzimní orby změnila cenu vyrobené energie o necelé 1 %.

Při zakládání porostu křídlatky a miskantu je tedy vhodné věnovat zvýšenou pozornost ceně sazenic a množství sazenic na 1 ha, protože se výrazně projeví v celkové ceně vyráběné energie.

Náklady na sklizeň jsou u těchto čtyř energetických bylin relativně stejné díky mechanizované sklizni. Při nutnosti sklízet ručně, která může nastat u víceletých porostů topolů, by se náklady na sklizeň rapidně zvýšily.

Náklady na pěstování víceletých rostlin jsou ekonomicky spíše minoritní záležitost, ovšem pro jednoletku amarant se jedná zhruba o polovinu celkových nákladů. Do těchto nákladů se promítá hlavně cena hnojiva a v prvních letech víceletých porostů možná nutnost odplevelení. V případě křídlatky, tedy invazivní rostliny, je nutné udržování ochranného pásma, aby se zamezilo jejímu šíření do okolí. Rozdělení nákladů na pěstování je zobrazeno v Graf 11.

Dalším velice důležitým faktorem ovlivňujícím cenu vyrobené jednotky energie je doba pěstování. V krátkodobém hledisku jsou opakovaně vysazované jednoleté rostliny, jako amarant, jistě vhodnou volbou pro cílené energetické pěstování, ovšem v dlouhodobém hledisku trvalé rostliny vycházejí ekonomicky lépe.

UKAZATEL	JEDNOTKA	KŘÍDLATKA	AMARANT	ŠŤOVÍK	MISKANTUS
Náklady na založení pole	1(ANO)/0(NE)	1	1	1	1
Náklady na sklizeň	1(ANO)/0(NE)	1	1	1	1
Náklady na pěstování	1(ANO)/0(NE)	1	1	1	1
Tržba z produkce semene	1(ANO)/0(NE)	0	0	0	0
Celková dotace	1(ANO)/0(NE)	0	0	0	0
Likvidace porostu	1(ANO)/0(NE)	1	1	1	1
Doba pěstování	počet roků	10	1	10	10
Náklady na založení pole	Kč/ha	<b>67600</b>	<b>11250</b>	<b>15650</b>	<b>73500</b>
Náklady na sklizeň	Kč/ha	2100	2750	2750	1900
Náklady na pěstování	Kč/ha	1200	4600	3400	2500
Tržba z produkce semene	Kč/ha	0	0	0	0
Celková dotace	Kč/ha	0	0	0	0
Likvidace porostu	Kč/ha	17500	1600	6600	9500
<b>Náklady na biomasu</b>	<b>Kč/ha/rok</b>	<b>11810</b>	<b>20200</b>	<b>8375</b>	<b>12700</b>
Výnos energ. produktu	t/ha	25	8	8	12
Rozptyl výnosu	t/ha	15–30	5–12	5–12	8–18
Vlhkost energ. produktu	%	8,91	6,7	15	12,4
Výhřevnost suché hmoty	GJ/t	15	14	16	14,5
Náklady na palivo celkem	Kč/t	472	2525	1047	1058
<b>Cena energie v palivu</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>31,5</b>	<b>180,4</b>	<b>65,4</b>	<b>73,0</b>
<b>Rozptyl ceny energie</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>26–52,5</b>	<b>120–288,5</b>	<b>43,5–104,5</b>	<b>48,5–109,5</b>
Náklady na briketování	Kč/t	1000	1000	1000	1000
Náklady na palivo celkem	Kč/t	1472	3525	2047	2058
Výhřevnost suché hmoty	GJ/t	15	140	16	14,5
<b>Cena energie v palivu</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>98</b>	<b>252</b>	<b>128</b>	<b>142</b>
<b>Rozptyl ceny energie</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>93–119</b>	<b>192–360</b>	<b>106–167</b>	<b>118–178</b>
Náklady na peletování	Kč/t	1500	1500	1500	1500
Náklady na palivo celkem	Kč/t	1972	4706	2547	2558
Výhřevnost suché hmoty	GJ/t	15	14,9	16	14,5
<b>Cena energie v palivu</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>131</b>	<b>288</b>	<b>159</b>	<b>176</b>
<b>Rozptyl ceny energie</b>	<b>Kč/GJ</b>	<b>126–152</b>	<b>227–396</b>	<b>137–198</b>	<b>152–213</b>

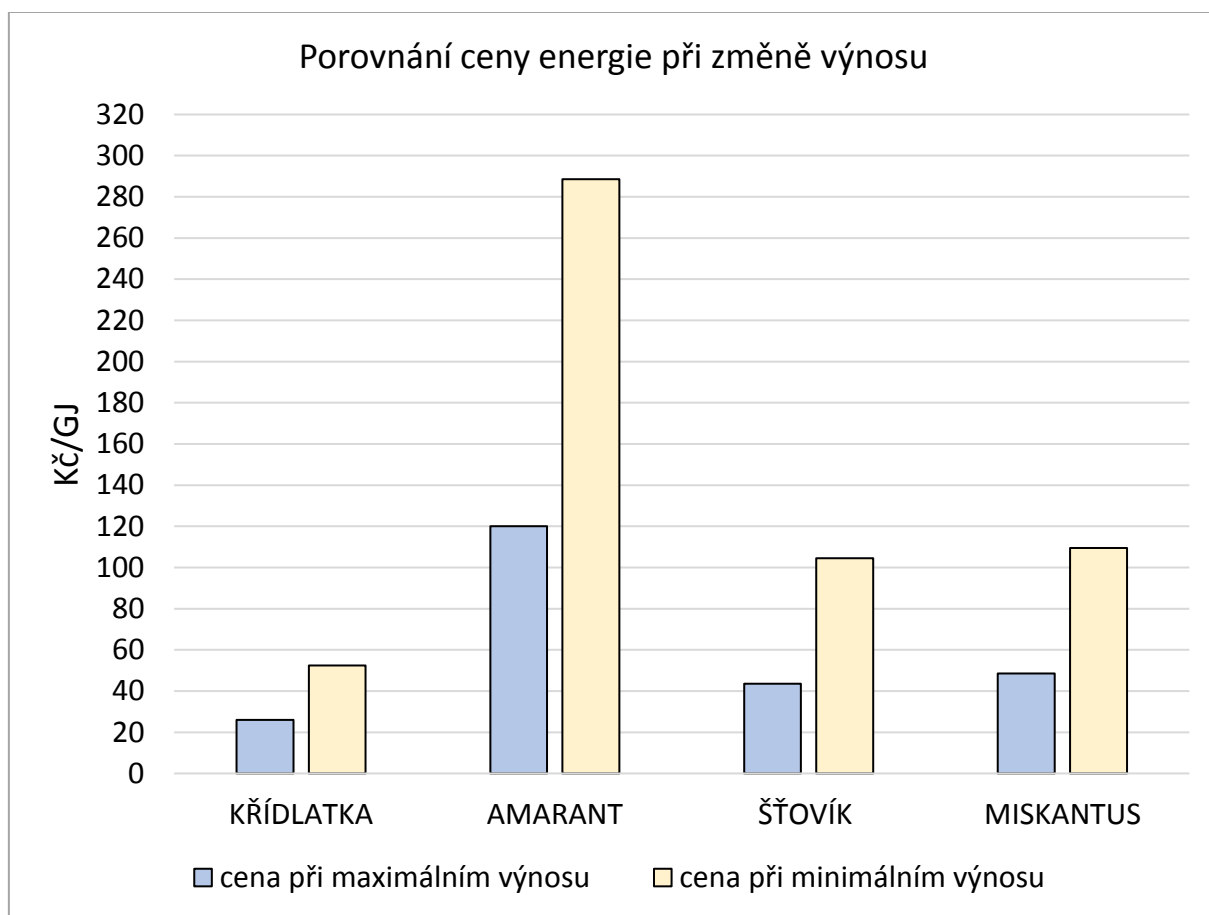
Tab. 5 Porovnání výsledných cen jednotky energie



Hodnota výnosu sušiny je proměnná, kterou nelze nikdy přesně určit. Jedná se tedy o odhady, které jsou založené na různých zdrojích informací. V rešeršní části této práce je nastíněno, v jakých rozmezích se tyto výnosy u jednotlivých rostlin pohybují. Hlavními zdroji jsou jak odborné publikace, tak i odborné články a webové příspěvky na biomasou se zabývajících internetových stránkách.

Rozsah výnosů vycházející z rešerše je příliš široký a je důležité co nejpřesněji určit predikci, která se bude opravdu blížit reálnému výnosu. Proto jsou v ekonomické a citlivostní analýze zavedeny hodnoty výnosů, které jsou získány přímo od jednotlivých zemědělců.

Rozptyl těchto výnosů se stále pohybuje v desítkách procent, nelze nikdy přesně říct, kolik se sklídí pěstované plodiny. Nejistoty v podobě nepříznivého i příznivého počasí, napadání škůdci, případně nevhodně zvolené lokality nelze nikdy úplně eliminovat.



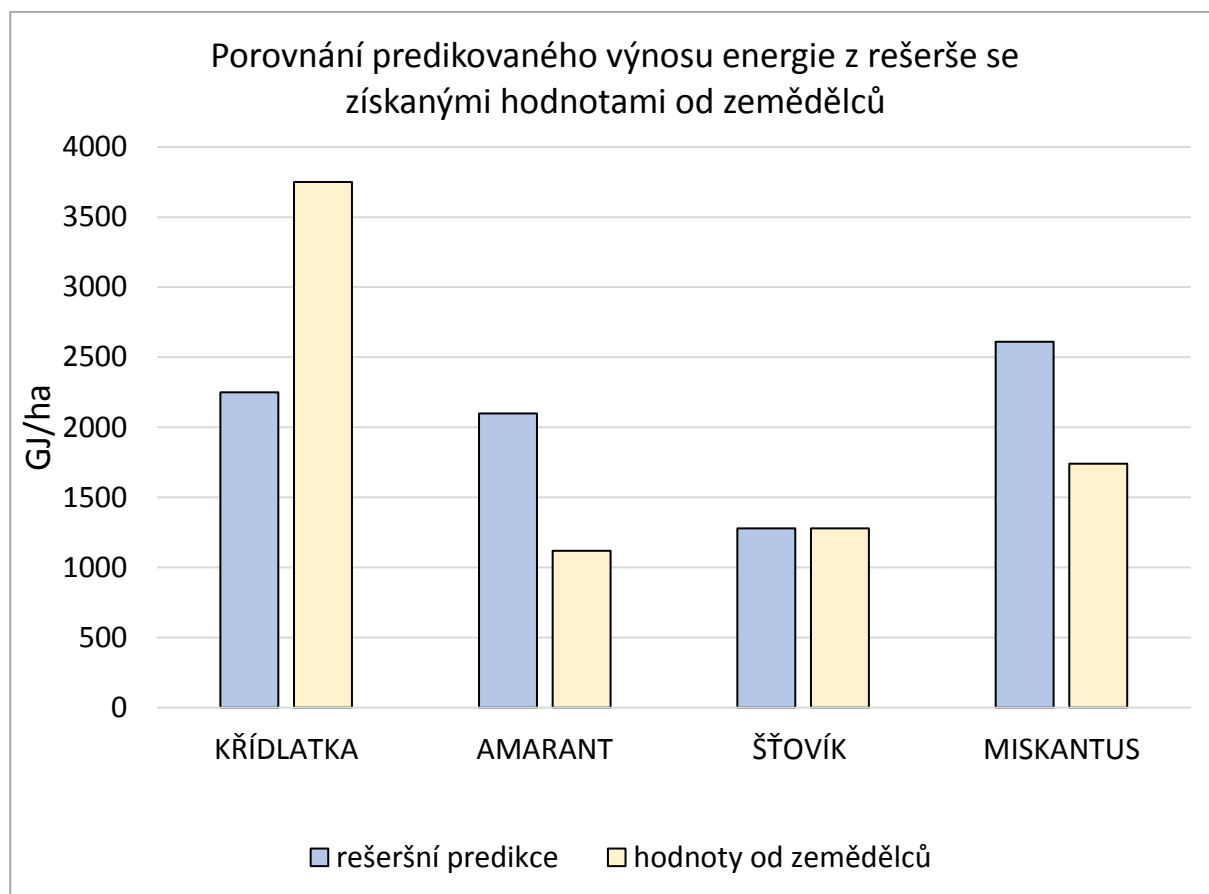
*Graf 8 Cena jednotka energie při uvažování rozptylu výnosu*

Z Graf 8 je patrný velký rozptyl ceny energie z amarantu oproti ostatním plodinám. Dá se říct, že tento rozptyl ceny je až rizikový, protože u ostatních plodin se cena energie oproti předpokládané ceně zvyšuje o hodnotu 20–30 Kč/GJ. U amarantu se cena může vyšplhat nahoru o více než 100 Kč/GJ.

Při špatném roce, tedy při nízkých výnosech biomasy by cena 1 GJ z šťovíku a miskantu neměla příliš překročit hodnotu 100 Kč/GJ. U amarantu by se cena 1 GJ mohla vyšplhat téměř na hodnotu 300 Kč/GJ. Tato hodnota je srovnatelná s cenou zemního plynu.

Na rozdíl od informací v rešerši, které jsou zdroj od zdroje odlišné, jsou informace přímo od zemědělců přesnější. Tyto hodnoty výnosů jsou ovlivněny počasím, lokalitou a použitou technologií pěstování. Oproti rešeršním informacím, které mohou být ovlivněny výběrem pouze vhodných dat od jednotlivých autorů z důvodu vytvoření jakési pozitivní reklamy pro jednotlivé plodiny.

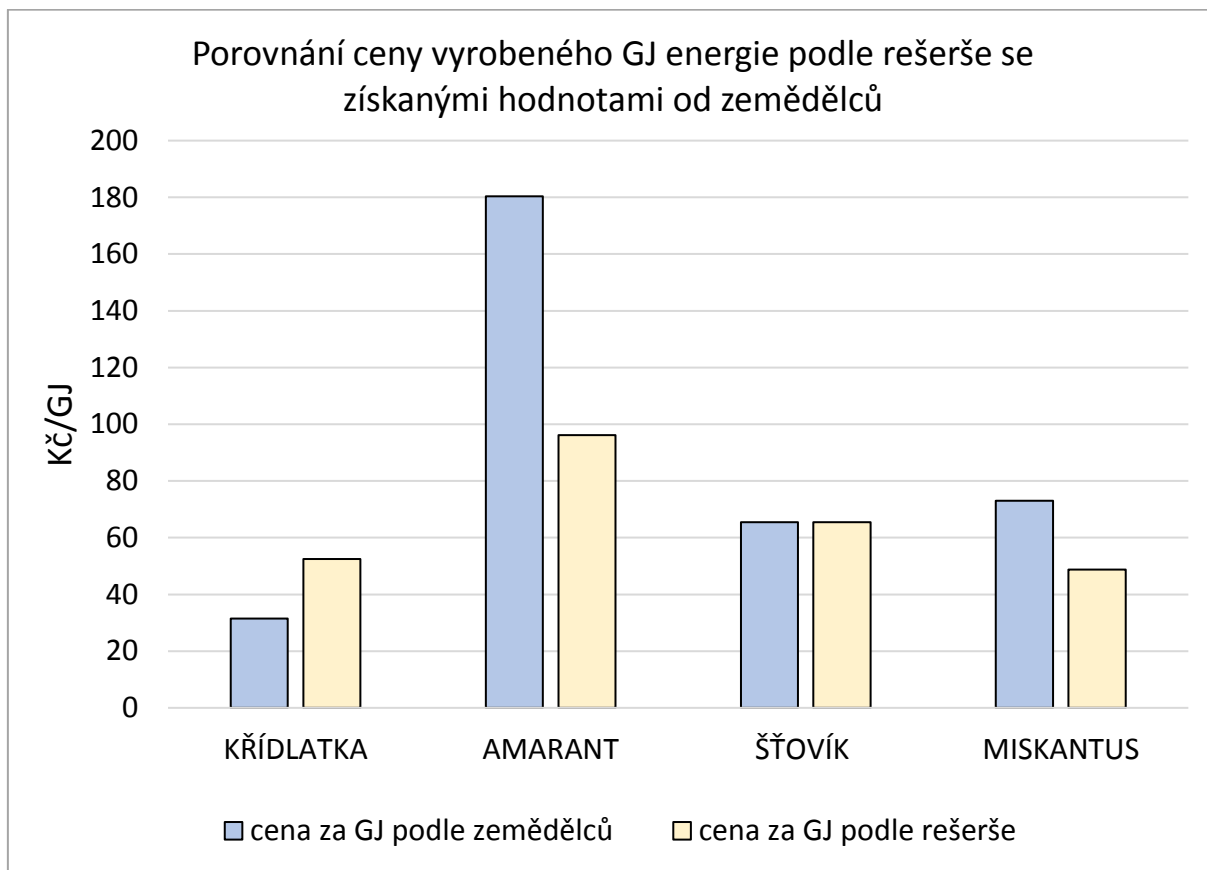
Při oproštění se od nejistot lze určit jakousi střední hodnotu ceny energie v palivu, kterou lze dále analyzovat a porovnávat s ostatními zdroji energie. Rozptyl ceny energie i určenou střední hodnotu pro další analýzu lze najít v Tab. 5.



Graf 9 Porovnání změny výnosů oproti rešeršním hodnotám

Hodnoty, které byly poskytnuty zemědělci, jsou většinou nižší než hodnoty původní rešeršní predikce. Například pro amarant byla původní predikce 15 t/ha, tato hodnota byla později po konzultaci se zemědělci zabývajícími se pěstováním této rostliny snížena na 8 t/ha. Oproti tomu výnosy křídlatky byly dle rešerše nižší. Křídlatka je obecně velice perspektivní energetickou bylinou, při potlačení samovolného šíření do okolí by patřila na pomyslné první místo mezi v této práci porovnávanými rostlinami.

Po co nejpřesnějším určení výnosů a jejich porovnání je dalším krokem stanovení ceny energie získané z těchto energetických plodin. Toto navazující stanovení ceny 1 GJ je zobrazeno v Graf 10.



Graf 10 Porovnání změny ceny energie oproti rešeršním hodnotám

Cena za GJ vyrobené energie je hlavní ekonomický ukazatel, který zahrnuje jak hodnotu výnosu z Graf 9, tak i výhřevnost a celkovou hodnotu investice na založení pole a jeho každoroční provoz. Výsledkem této analýzy jsou celkové náklady na jeden vyrobený GJ.

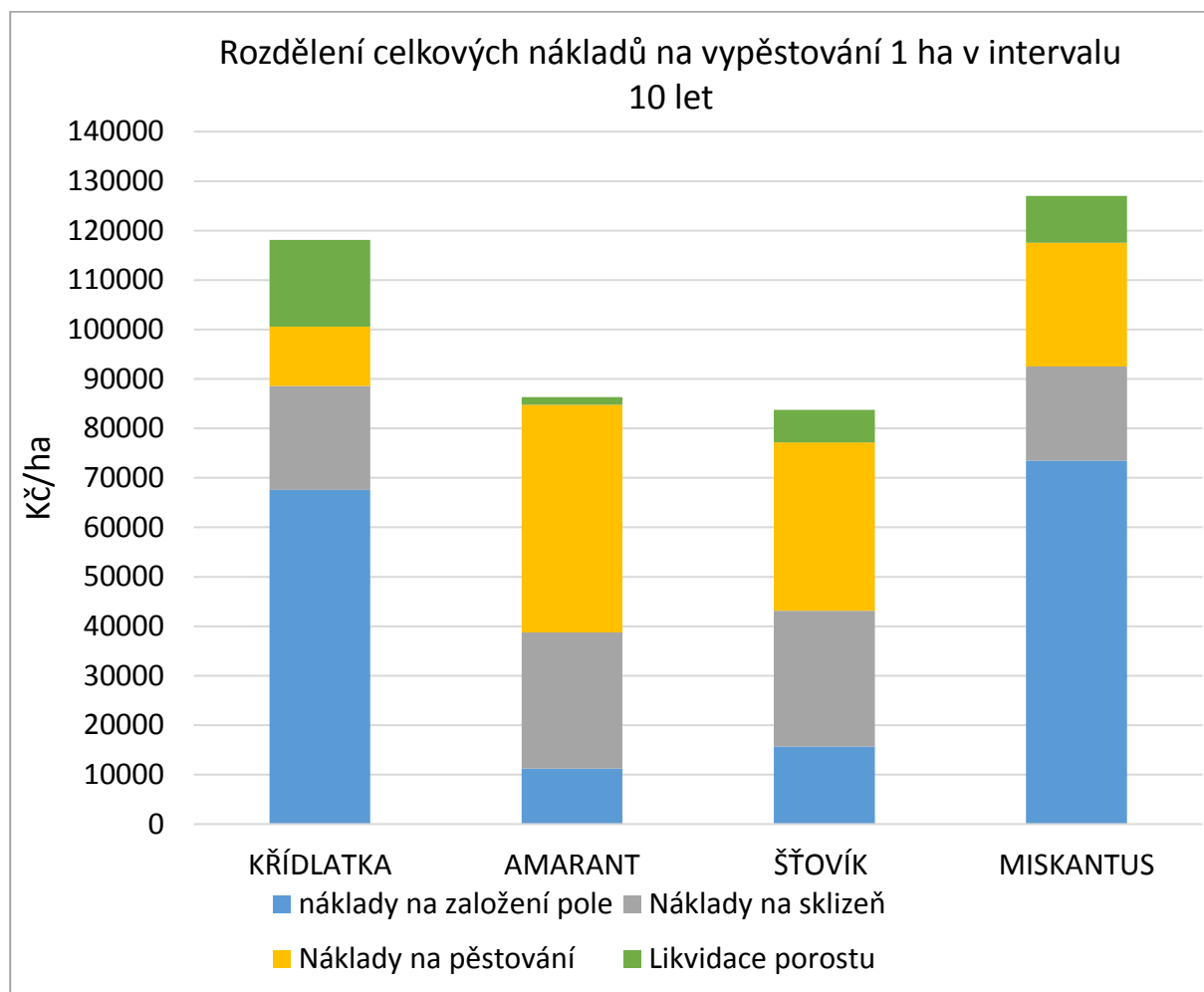
Výstupem z Graf 10 je fakt, že se cena trvalek podle rešeršně získaných informací a podle informací od zemědělců pohybuje v rozptýlu 20–30 Kč/GJ. Oproti tomu cena opakovaně vysazované jednoletky amarantu nejen, že je nejvyšší ze všech, ale cena amarantu podle zemědělce je dvojnásobná oproti rešeršní predikci. Rozdíl této ceny je více než 80 Kč/GJ.

Křídlatka vychází již podle rešerše nejlépe, tedy s nejnižší cenou. Po doplnění informací se v druhé části práce tato predikce ukazuje jako pravdivá, a ještě dochází ke snížení její ceny z důvodu vyššího očekávaného výnosu, než byl původně predikován.

Jak bylo již dříve zmíněno, tak amarant jako palivo vychází nejdražší z těchto čtyř energetických bylin. Ovšem u amarantu existuje možnost prodeje semene, která by mohla ekonomiku pěstování této rostliny značně vylepšit (viz Graf 19).

Šťovík je v ČR dlouhodobě pěstovaná rostlina, tudíž se informace získané v rešerši neliší od reálných hodnot. Životnost pole je stále otázkou, ale minimálně 10 let by mělo být pole schopné dávat stabilní výnosy.

Miskantus se finančně jeví lehce hůře než šťovík, ale případná delší životnost pole by snížila výslednou cenu vypěstované energie pod úroveň ceny energie ze šťovíku. Při zakládání pole miskantu může docházet k neúplnému uchycení všech oddenků a následné nutnosti částečného dosazování porostu. Vhodné je také občasné zavlažení porostu, které pozitivně ovlivňuje výnosy, hlavně při občasném výskytu suchých období.



Graf 11 Rozdělení celkových nákladů na vypěstování 1 ha

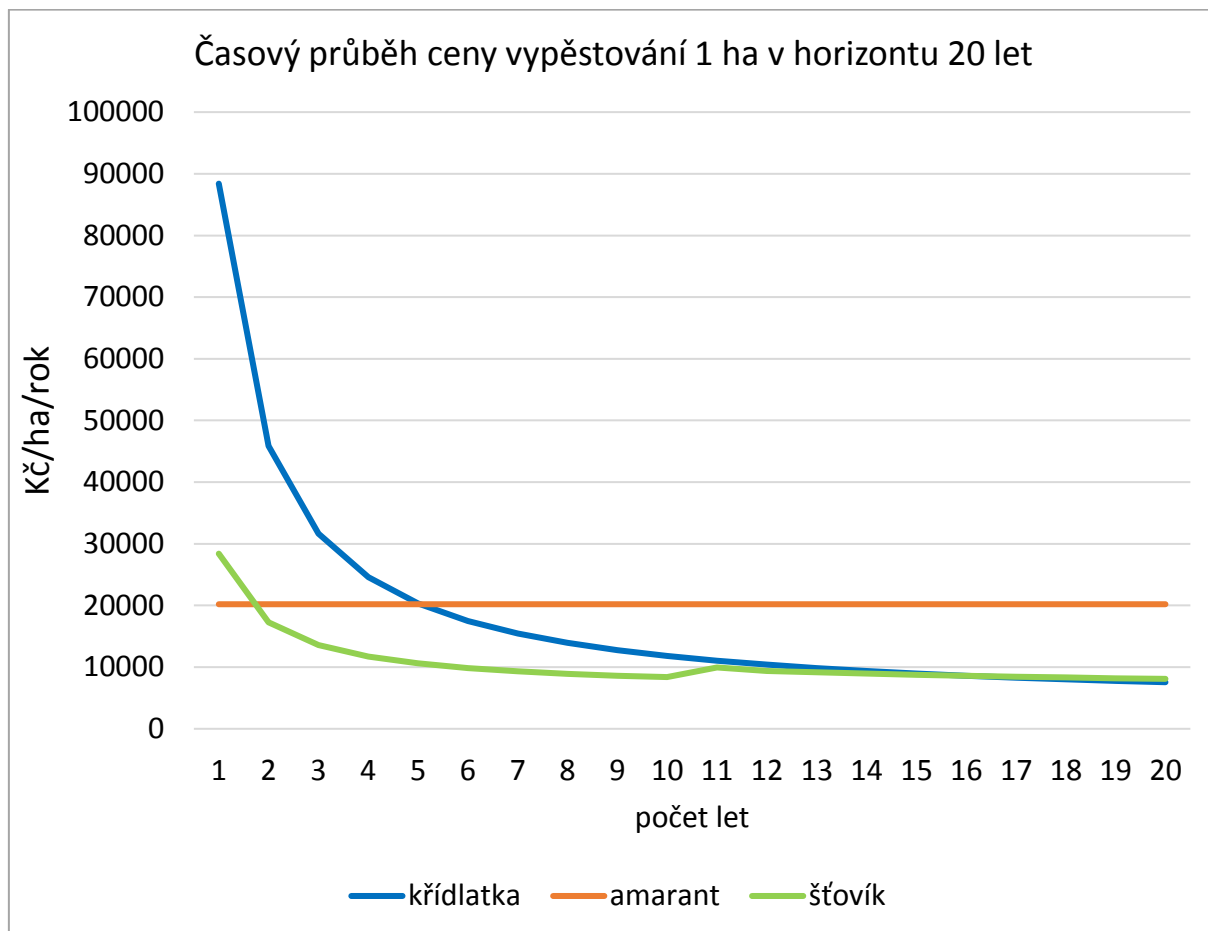
Důležitou součástí ekonomiky pěstování energetické nedřevní biomasy je rozložení nákladů na její vypěstování. Určení počáteční investice a přesná analýza každoročních nákladů na provoz dává zemědělci povědomí o tom, na kterou položku v nákladech dbát zvýšené pozornosti a na které položce naopak příliš nezáleží.

Určení celkových nákladů na vypěstování jednoho hektaru je velice komplexní záležitost. Data získaná od zemědělců poukazují na vysoké investiční náklady u zakládání pole trvalek křídlatky a miskantu pomocí oddenků. Trvalka šťovík je sazená pomocí semen, náklady na založení porostu tedy příliš nepřesahují náklady na založení porostu amarantu.

Celková náročnost investice je nejvyšší u miskantu, náklady vychází na 127000 Kč za interval 10 let. Z této částky zhruba 60 % dělají náklady na založení pole. Existuje zde také možnost postupného zakládání porostu, kdy se v prvních letech po založení porostu dá vyorat část oddenků. Postupně se tak může rozšiřovat osázená plocha při menších vstupních nákladech, ale v delším časovém období a menší hustotě porostu.

U křídlatky se náklady dostávají na hodnotu 118100 Kč. Opět náklady na založení pole dělají téměř 60 % celkových nákladů. Amarant a šťovík vycházejí investičně levněji, kdy za 10 let opakovaného vysazování amarantu náklady vyšplhají na 86350 Kč. U amarantu jsou nejvyšší náklady na pěstování, dělají zhruba 50 % z celkových nákladů. Náklady na desetileté pěstování šťovíku jsou na hodnotě 83750 Kč. Z toho 80 % dělají náklady na pěstování a sklizeň.

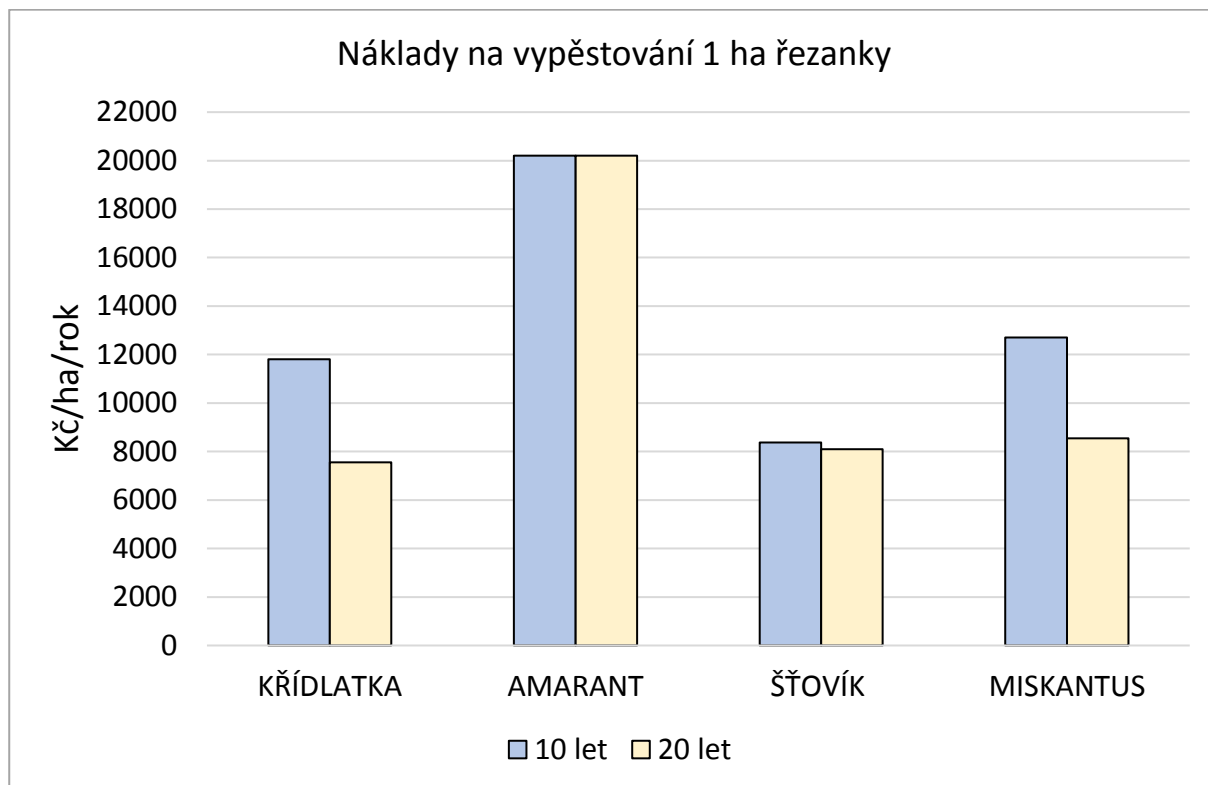
Pokud bychom uvažovali životnost pole 10 let, jsou náklady na 1 ha vyrobené biomasy u křídlatky 11810 Kč/ha/rok. Tato hodnota je v porovnání s ostatními plodinami například vyšší než u šťovíku zhruba o 3500 Kč/ha/rok, ale o více než o 8000 Kč/ha/rok nižší než opakovaně vysazovaná jednoletka amarant. U šťovíku se nedá počítat s vyšší životností pole než 12 let, ale u křídlatky a ozdobnice je vyšší životnost porostu více než reálná.



Graf 12 Časový průběh ceny vypěstování 1 ha

Při dvojnásobné životnosti, tedy 20 let životnosti porostu, by cena vyrobené biomasy klesla na 7555 Kč/ha/rok. To je tedy o 4255 Kč/ha/rok méně, což je zhruba o třetinu méně než při 10leté životnosti porostu. Křídlatka dosáhne stejné ceny biomasy jako šťovík v Kč/ha/rok po 17 letech.

Při zahrnutí ceny miskantu by výsledná křivka byla téměř totožná s křivkou vývoje cen křídlatky. Průběžné ceny miskantu se pohybují na hodnotě zhruba o 10 % vyšší, než jsou hodnoty křídlatky. Miskantus má předpoklad delší životnosti pole, než je životnost šťovíku. Proto by se v této křivce vývoje nenacházel skok způsobený obnovením porostu. Podle informací získaných od zemědělce je očekávaná životnost porostu miskantu zhruba 25 let.

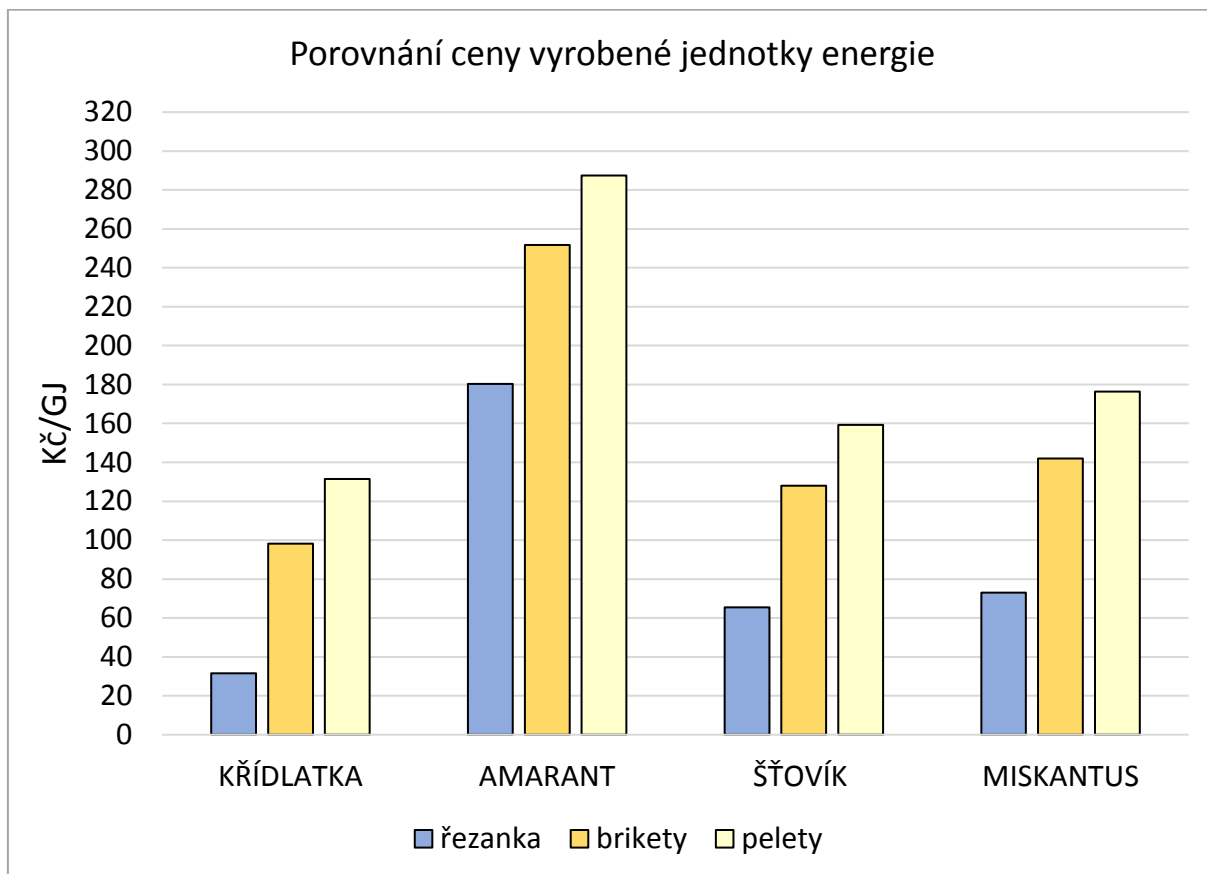


Graf 13 Porovnání nákladů na vypěstování 1 ha řezanky

Náklady na řezanku těchto energetických bylin po 10 letech ukazují, že opakovaně vysazovaná jednoletka amarant v dlouhodobém hledisku vyjde zhruba dvojnásobně dražší na pěstování než trvalky křídlatka, šťovík a miskantus. Při pěstování po dobu 20 let a při zahrnutí obnovy pole šťovíku po 10 letech lze sledovat markantnější snížení nákladů oproti jednoletce amarantu.

Některé zemědělské provozy mohou mít problém se skladováním řezanky pro její velký objem. Řešením pro zmenšení skladovacích prostor je lisování řezanky do pelet či briket. Vlastnosti biomasy jako paliva přitom zůstanou stejné. Oproti tomu náklady na takto peletovanou či briketovanou biomasu se zvyšují. Náklady na briketování se pohybují okolo 1000 Kč/t a náklady na peletování okolo 1500 Kč/t. Tato částka se liší dostupností technologie pro úpravu biomasy, případně nutností využití externí firmy pro tuto úpravu.

Jak můžete vidět v grafu 8, náklady na vyrobenou biomasu ve formě pelet dosahují několikanásobných hodnot oproti výrobě řezanky. Je tedy na jednotlivých zemědělských podnicích zvážit vyšší finanční náročnost vyrobené biomasy oproti snížení skladovacích prostor.



*Graf 14 Porovnání ceny energie v briketách a peletách oproti řezance*

Podle zdroje [31] je sypná hmotnost řezanky šťovíku  $69,3 \text{ kg/m}^3$  při vlhkosti porostu při sklizni 18,6 %. Sypná hmotnost pelet je oproti tomu na hodnotě  $631 \text{ kg/m}^3$  při vlhkosti pelet do 10 %. [32]

Rozdíl v sypné hmotnosti pelet oproti řezance se tedy pohybuje na desetinásobně vyšší hodnotě, což znamená ušetření skladovacích prostor na desetinu. Takto signifikantní snížení skladovacích prostor může hrát rozhodující roli při výběru druhu zpracování tohoto biopaliva.

Pro porovnání s ostatními palivy sypná hmotnost řezanky slámy při vlhkosti 16,8 % má hodnotu  $48,3 \text{ kg/m}^3$  a sypná hmotnost dřevěných briket se pohybuje mezi  $400\text{--}650 \text{ kg/m}^3$ . [31] [33]





Obr. 7 Řezanka miskantu a křídlatky

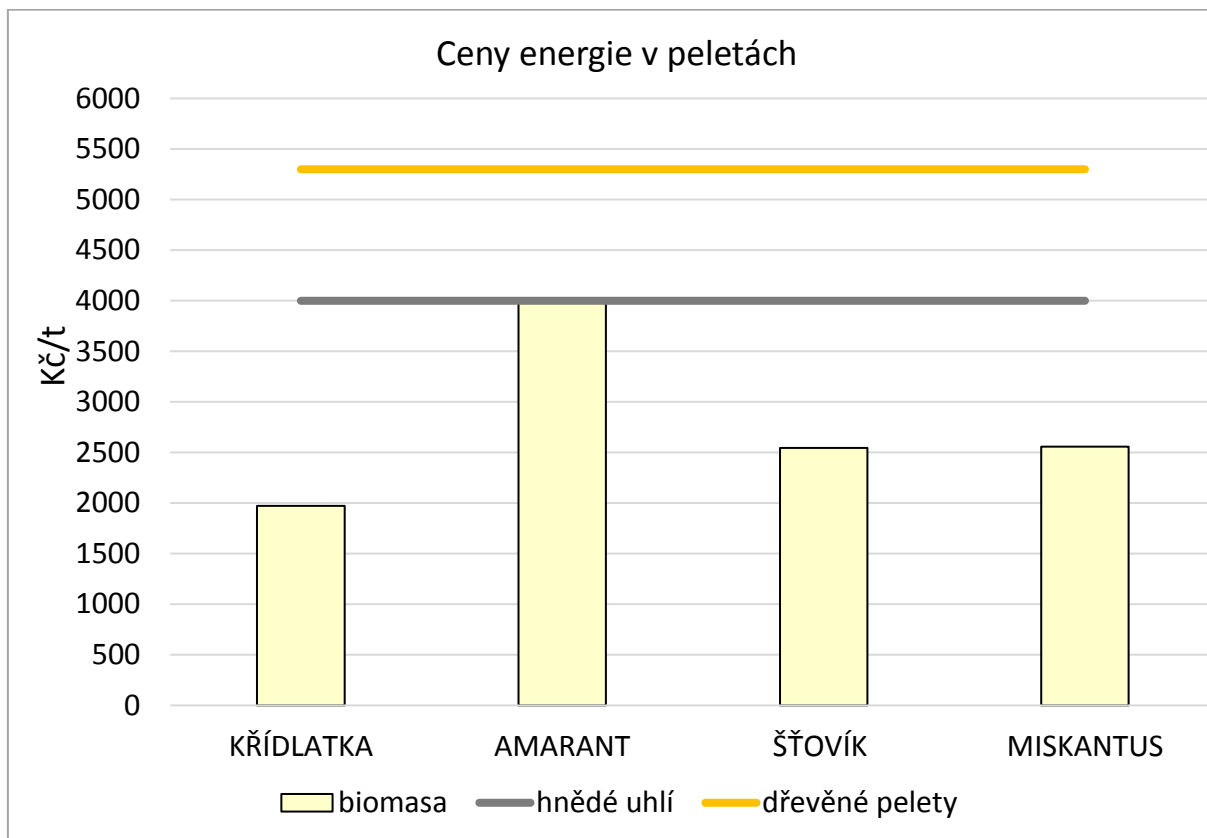
Řezanka je energetický produkt, který vzniká hned při sklizni energetické biomasy. Velikost řezanky se liší podle toho, jakou řezačkou je sklizena. Na Obr. 7 můžeme vidět jemnější řezanku křídlatky (vpravo) a hrubší řezanku miskantu. Oba snímky řezanky jsou pořízeny v rámci získávání informací od jednotlivých zemědělců.

	Výhřevnost		Cena		Cena [Kč/GJ]
Dřevní štěpka	10	MJ/kg	1200	Kč/t	120
Dřevní pelety	18	MJ/kg	5300	Kč/t	295
Hnědé uhlí	17,6	MJ/kg	4000	Kč/t	227
Zemní plyn	33,48	MJ/m <sup>3</sup>	10	Kč/m <sup>3</sup>	299
Sláma	14	MJ/kg	5520	Kč/t	394

Tab. 6 Použité charakteristické hodnoty běžně dostupných paliv

Pro porovnání analyzovaných fytopaliv je nutné stanovení charakteristických hodnot běžně dostupných paliv. Tato paliva byla vybrána jako nejčastěji používaná a jejich hodnoty jsou spíše orientační. Do budoucna se dá jistě očekávat pohyblivá cena těchto paliv.

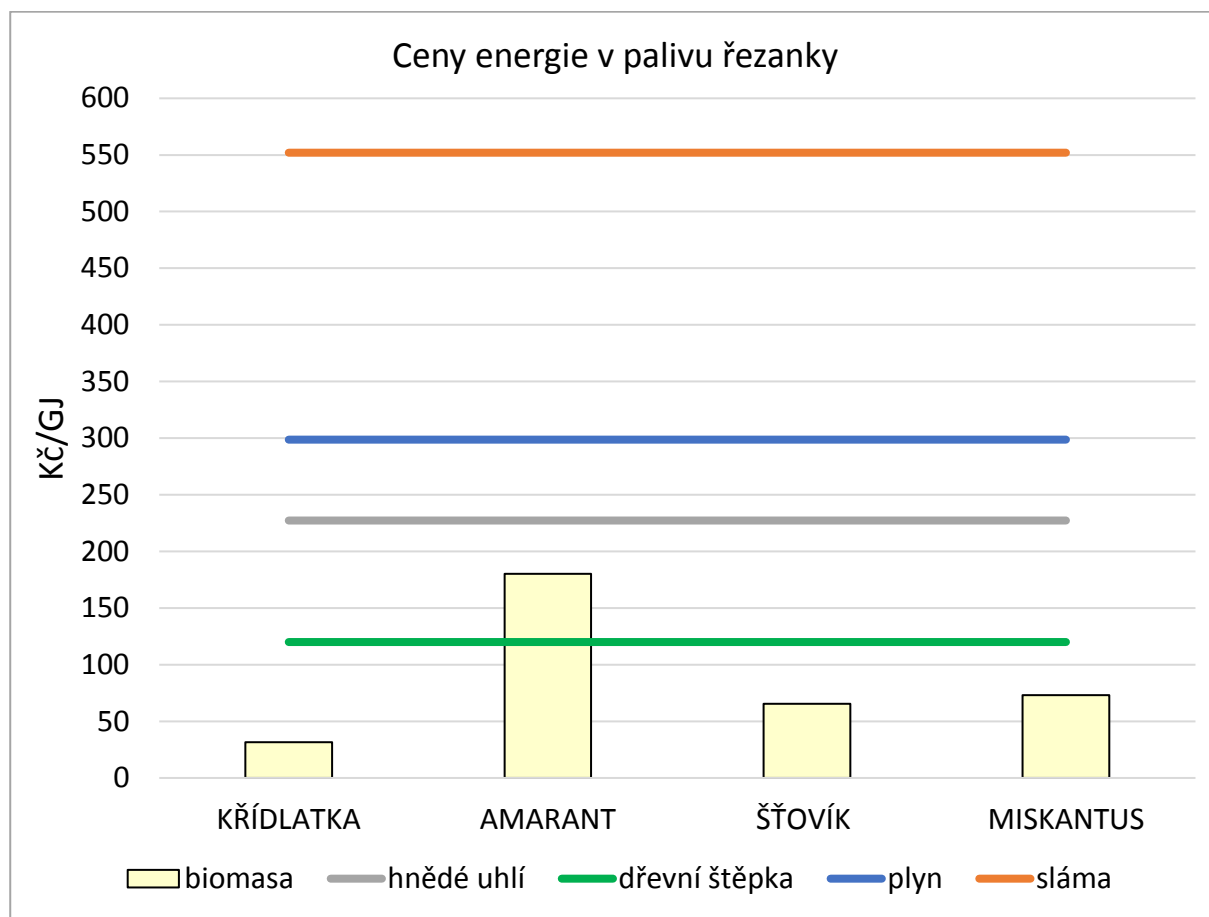




Graf 15 Porovnání ceny pelet z biomasy a jiných běžně dostupných paliv

V Graf 15 je znázorněna výsledná cena pelet z biomasy při době pěstování 10 let. Tato cena je porovnána s cenou bílinského hnědého uhlí ořech 2 a s cenou dřevěných pelet. Cena uhlí i pelet je proměnná, kterou nelze určit přesně, protože se trh s palivy dynamicky mění. Pro hrubé porovnání byly vybrány průměrné ceny těchto běžně dostupných paliv. Cena hnědého uhlí byla zvolena 4000 Kč/t a cena dřevěných pelet 5300 Kč/t.

Nejdražší forma zpracování biomasy je právě lisování do pelet. Graf 15 ukazuje fakt, že i při této finančně náročnější úpravě fytopaliv jsou ceny za tunu více než konkurenceschopné oproti tradičním běžně dostupným palivům.



Graf 16 Porovnání ceny energie v řezance

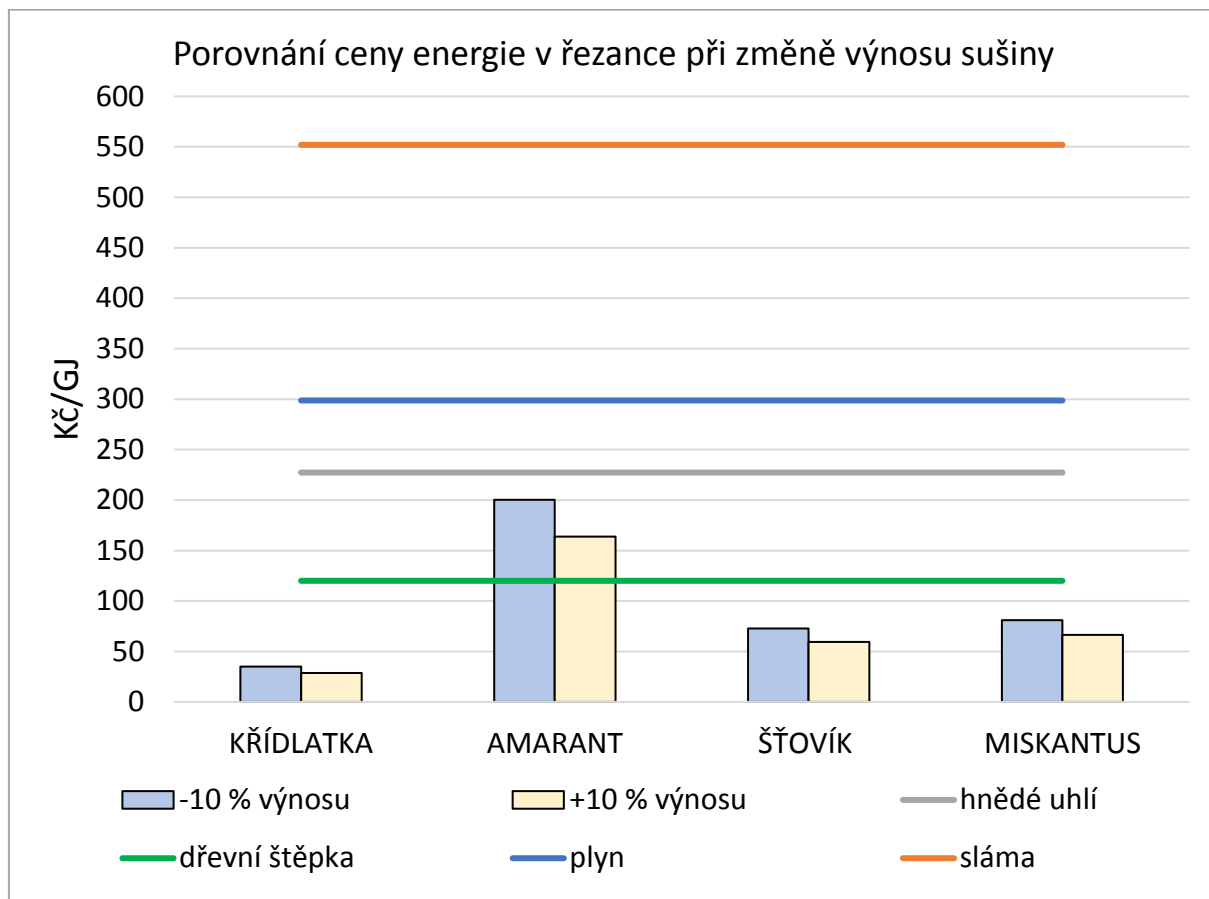
Při oproštění hodnoty výnosu od nejistoty příznivého počasí a dalších výnos ovlivňujících aspektů dostáváme nejpravděpodobnější hodnotu výnosu. Tato hodnota spolu s přesným určením výhřevnosti poskytuje možnost porovnání zkoumaných fytopaliv s ostatními běžně dostupnými palivy.

Z Graf 16 je patrné, že cena energie z většiny zkoumaných fytopaliv nepřesahuje cenu energie z jiných běžně dostupných paliv. Hodnoty cen energie ostatních paliv použité v tomto grafu jsou stanoveny v Tab. 6.

Dřevní štěpka je nejlevnější z ostatních běžně dostupných paliv. Cenu za 1 GJ z dřevní štěpky přesahuje pouze jednoletka amarant a to o 60 Kč/GJ. Spalování řezanky amarantu stále vychází o necelých 50 Kč/GJ levněji než spalování hnědého uhlí.

Trend vývoje ceny hnědého uhlí bude s největší pravděpodobností růst. Tento očekávaný nárůst ceny má za následek politická situace ve světě, která se snaží o postupný odchod od fosilních paliv a o nahrazení těchto paliv obnovitelnou alternativou. Spalování biomasy je obnovitelná alternativa, a tak se dá očekávat příznivá politická situace. Důsledkem této příznivé politické situace by mělo být přinejhorším udržení stejné ceny biomasy, ne-li její snížení důsledkem dotací.

Biomasa ve formě řezanky je levnější než ve formě pelet či briket. Po sklizni se hotová řezanka již nemusí nijak upravovat, a tudíž je tato forma ekonomicky nejvýhodnější. Problém může nastat při skladování, kdy řezanka zabírá mnohonásobně víc místa než pelety a brikety.



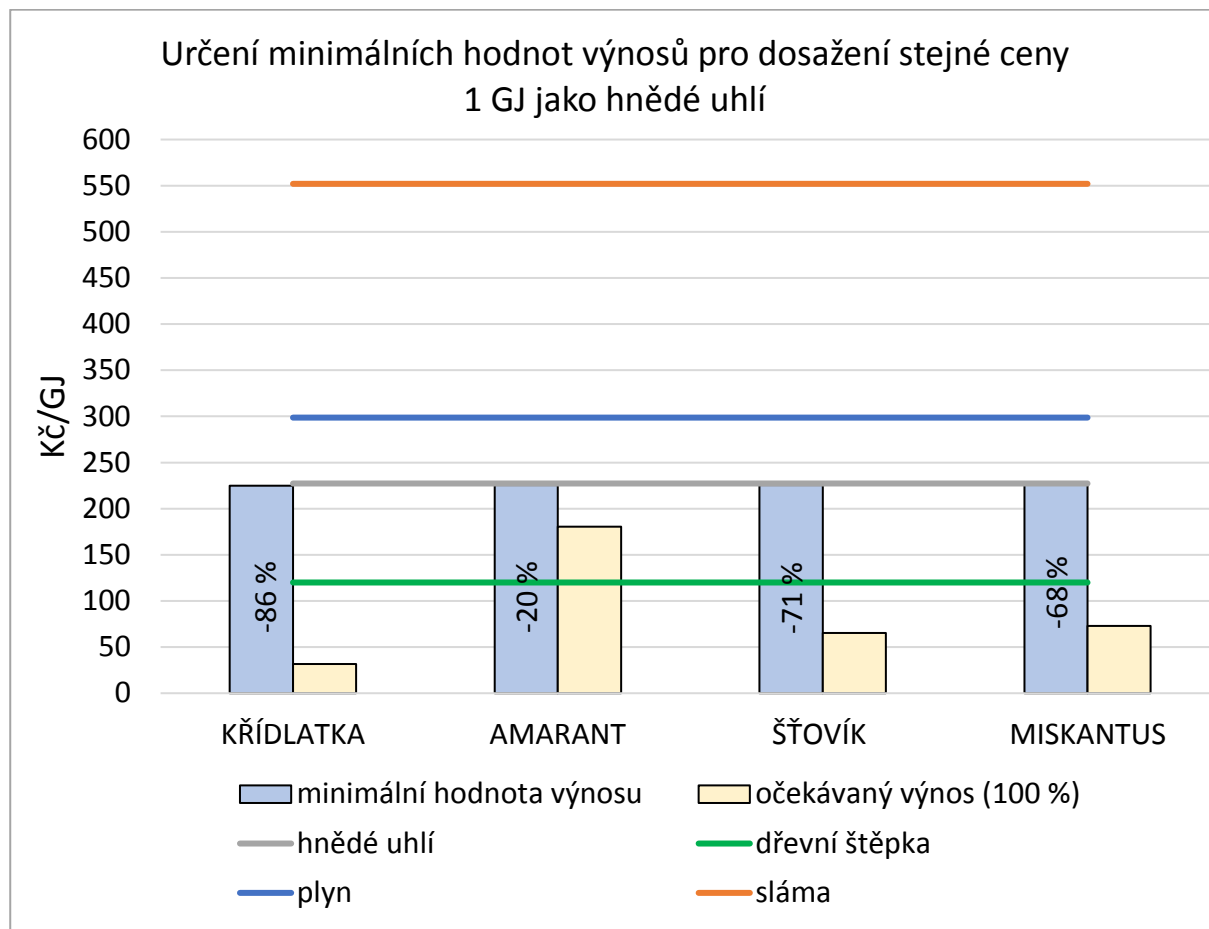
Graf 17 Porovnání ceny energie z řezanky při změně výnosu o 10 %

V Graf 17 je znázorněn trend změny ceny energie při změně výnosu, jelikož není možné se úplně oprostit od nejistoty snížení, případně i zvýšení výnosu. Uvažovaná změna výnosu je zde 10 %, což není nepřekročitelná hranice, která by neměla ukazovat mezní hodnotu změny výnosu.

Tento trend změny ceny energie je u trvalek pozvolný a rozdíl ceny se mezi příznivým a nepříznivým výnosem pohybuje v jednotkách Kč/GJ. Změna ceny dosahuje maxima u miskantu, kdy se jedná o rozdíl 15 Kč/GJ.

V případně opakovaně sazené jednoletky miskantu je pokles ceny při nepříznivém výnosu oproti příznivému výnosu na hodnotě téměř 40 Kč/GJ. Při výběru této plodiny je tedy nutné uvažovat s větším výkyvem ceny vyrobené energie.

I při nepříznivé hodnotě výnosu cena energie z žádné z těchto energetických bylin nepřekračuje cenu energie z hnědého uhlí. O kolik by se musel snížit výnos, aby cena vycházela stejně jak u uhlí, je znázorněno v Graf 18.



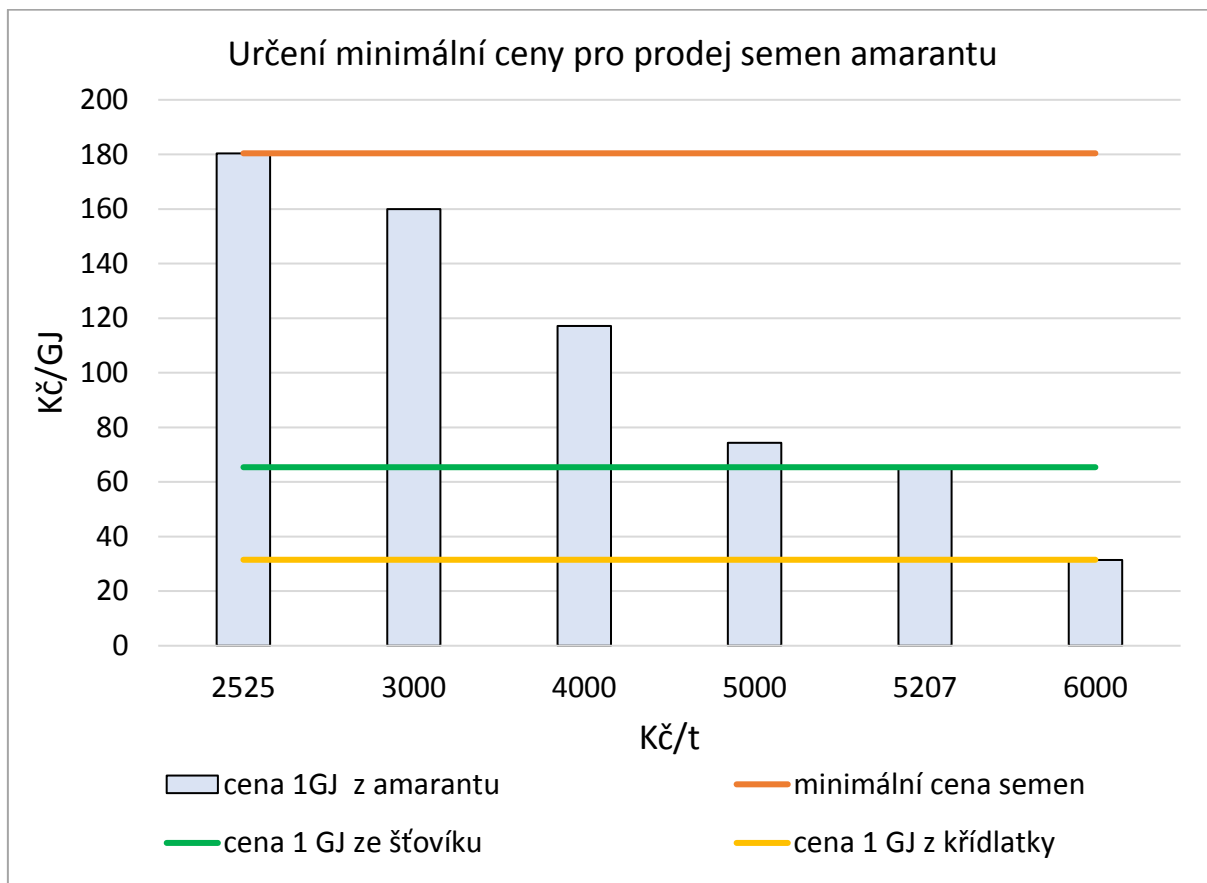
Graf 18 Určení mezních hodnot výnosů v porovnání s cenou hnědého uhlí

Hodnota výnosu je proměnná, jejíž rozptýl byl nastíněn v předchozích částech práce. Důvody, proč nelze určit výnos přesně, jsou jednoduše nestálost počasí, různé lokality, různé technologické postupy pěstování a další.

Protože je výnos tak proměnný, je vhodné určit mezní hodnoty tohoto výnosu tak, aby i při minimálním výnosu vycházelo pěstování plodiny ekonomicky výhodně. V Graf 18 je tato ekonomicky výhodná hodnota určena jako cena hnědého uhlí. Tedy jakákoliv cena nižší než cena hnědého uhlí je brána jako ekonomicky výhodná. Tato hranice ceny hnědého uhlí je vyšší než cena běžně dostupné dřevní štěpky.

Nejvyšších výnosů dosahuje křídlatka, je u ní tedy největší rezerva možného poklesu výnosu. Při 14 % z očekávaného výnosu by se cena energie z křídlatky rovnala ceně hnědého uhlí. Podobně u šťovíku a miskantu by se zhruba při 30 % z očekávaného výnosu pořád mohla nedřevní biomasa rovnat hnědému uhlí.

Problematickou rostlinou se zde zdá být amarant. Při 20% poklesu výnosu je cena energie na stejné hodnotě jako cena hnědého uhlí. Hodnota poklesu 20 % není nepřekonatelnou hranicí, nemluvě o tom, že již při očekávaném výnosu je cena energie dražší než energie z dřevní štěpky. V dnešní době kůrovcové kalamity se cena dřevní štěpky pohybuje na nízkých hodnotách, je tedy možné, že trend ceny dřevní štěpky do budoucna poroste.



*Graf 19 Ekonomika pěstování amarantu při prodeji semen*

Pro amarant jako jediný z dříve analyzovaných rostlin existuje možnost prodeje jeho semen, jelikož jeho semena jsou považována za superpotravinu. Z jednoho hektaru se dá očekávat výnos semene okolo 3 t.

Trh s amarantem je z velké části zasycen asijskou produkcí. Tento fakt snižuje cenu vyrobeného amarantu v našich podmínkách, dříve se cena semen amarantu pohybovala až na 15 000 Kč/t.

Pro prodej těchto semen je nutné dosažení minimální ceny 2525 Kč/t. Právě při této hodnotě se prodej semen vyrovná energii získané při spalování společně s řezankou, tedy na hodnotě 180,4 Kč/GJ. Při prodeji semene zvláště a spalování řezanky klesá celková cena vyrobené energie. Prodej semen z velké části zaplatí náklady na vypěstování a zbylá sláma po odsemenění zůstává jako potenciální biopalivo.

Toto palivo neobsahující semena by reálně mohlo mít nižší výhřevnost, než byla původně uvažována. Musela by se tedy provést speciálně palivová zkouška pro určení této nové výhřevnosti. Zde je uvažovaná výhřevnost amarantu neměnná.

Pro získání stejné ceny energie z amarantu oproti šťovíku by se cena semen musela pohybovat na hodnotě 5200 Kč. Při ještě vyšší ceně, tedy na 6000 Kč, by cena vyrobené energie klesla na hodnotu totožnou s křídlatkou.

Při těchto výpočtech není uvažována doprava semene ani jeho případné dosoušení a balení pro účely prodeje. Je tedy vhodné tyto hodnoty ceny semene považovat za orientační.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření technicko-ekonomické studie biopaliv. Začátkem této studie je popsána problematika získávání biopaliv, jejich zpracování a spalování. V další části práce je zkoumána ekonomika pěstování biopaliv včetně stanovení výsledné ceny energie. Biopaliv vhodných pro spalování existuje velké množství, tato práce se zaměřuje převážně na bylinnou biomasu.

V rešeršní části je vytvořen zjednodušený přehled zkoumaných plodin z hlediska techniky pěstování, výnosů tun z hektaru a výhřevností. Jelikož jsou získané informace o výnosech tun z hektaru značně odlišné, byly vytvořeny předběžné predikce tohoto výnosu. Výstupem z rešeršní části potom byla predikce ceny energie.

Informace získané z různých, převážně internetových, zdrojů byly v ekonomické a citlivostní analýze doplněny o informace přímo od zemědělců. Popis technologie pěstování byl rozšířen o jejich zkušenosti s pěstováním. Získaná data výnosů tun z hektaru od zemědělců byla pečlivě porovnána s daty získanými v rešerši a byly získány následující poznatky.

Hodnoty výnosů získané v rešerši jsou obvykle vyšší hodnoty, než které dosahují zemědělci. Tento pokles hodnot výnosů se dá odůvodnit hned několika způsoby. Prvním důvodem jsou reálnější podmínky pěstování, kdy nedochází k intenzivnímu pěstování na malých zkušebních plochách. Dalším důvodem může být absence zavlažování a při nepříznivém počasí s tím spojené poklesy výnosů. Posledním, ale neméně důležitým důvodem, je možnost zkreslení dat z internetových zdrojů pro vytvoření jakési reklamy.

Pouze u křídlatky došlo k nárůstu těchto hodnot. To je zapříčiněno nízkým počtem cíleně pěstovaných ploch, a tudíž nedostatkem informací o této rostlině. Pěstování šťovíku se v ČR objevuje již delší dobu, z toho důvodu jsou hodnoty výnosů z rešerše totožné s informacemi získanými od jednotlivých zemědělců.

Pro určení výsledné ceny vypěstované biomasy byly s pomocí zemědělských podniků vypočítány celkové náklady na pěstování těchto plodin na ploše 1 ha v rámci 10 let. Investičně nejdražší plodiny jsou trvalky miskantus a křídlatka, které jsou sázeny pomocí oddenků. Nižší investice vyžaduje pěstování šťovíku a opakované vysazování jednoletky amarantu. Cena pěstování miskantu a křídlatky po dobu 10 let se pohybuje okolo 130 000 Kč/ha. Pěstování amarantu a šťovíku vyjde investičně na hodnotu zhruba 85 000 Kč/ha.

Při znalosti celkových nákladů na pěstování, hodnot výnosů z hektaru a výhřevností jednotlivých biopaliv byla určena celková cena vyrobené jednotky energie. Tato cena je jen přibližná a reálně se může lišit v rámci desítek procent. Nejnižších hodnot ceny jednotky energie dosahují trvalky. Jednotka energie z křídlatky stojí 31,5 Kč/GJ. Další trvalka šťovík dosahuje ceny 65,4 Kč/GJ a trvalka miskantus dosahuje ceny 73 Kč/GJ. Při delší životnosti pole by se miskantus dostal na pomyslné druhé místo a jeho cena by klesla pod cenu šťovíku.

Energie vyrobená z amarantu by vyšla na 180,4 Kč/GJ, kdy se už rozptýl této ceny může pohybovat na více než 50 %. Zde vzniká riziko vyšplhání ceny až na hodnotu ceny zemního plynu, který je dokonce dražší než hnědé uhlí a dřevní štěpka. Porovnání výsledných cen energie včetně očekávaného rozptýlu je shrnuto v Tab. 7.

	<i>očekávaná cena</i>	<i>rozptyl ceny</i>	<i>jednotka</i>
<i>křídlatka</i>	31,5	26–52,5	Kč/GJ
<i>amarant</i>	180,4	120–288,5	Kč/GJ
<i>šťovík</i>	65,4	43,5–104,5	Kč/GJ
<i>miskantus</i>	73	48,5–109,5	Kč/GJ
<i>hnědé uhlí</i>	227	200–250	Kč/GJ
<i>dřevní štěpka</i>	120	110–180	Kč/GJ
<i>dřevní pelety</i>	294	280–340	Kč/GJ
<i>zemní plyn</i>	299	220–450	Kč/GJ

*Tab. 7 Porovnání ceny energie z fytopaliv s ostatními palivy*

Pěstování amarantu v dlouhodobém hledisku není příliš konkurenceschopnou variantou, ovšem existuje varianta prodeje semene této plodiny a spalování zbytkové slámy. Při dosažení ceny semen 4000–5000 Kč/t by se dlouhodobé pěstování amarantu dalo považovat za konkurenceschopné.

Dá se tedy s jistotou říct, že se potvrdila počáteční predikce a pěstování trvalek vychází ekonomicky lépe. Porosty křídlatky a miskantu by měly na jednom stanovišti vydržet více než 20 let. Cena energie vyrobené z těchto trvalek je bezkonkurenčně nejnižší při dlouhodobém pěstování, ovšem vyžaduje také nejvyšší počáteční investici.

Hodnoty výnosů tun z hektaru a výsledná cena energie z křídlatky vypadají jako bezkonkurenčně nejvhodnější volba. Dochází zde ovšem k problému s invazivností rostliny, kdy legislativa není úplně nakloněna pěstování této rostliny a muselo by se udržovat ochranné pásmo v okolí založeného porostu.

Hodnota ceny energie z šťovíku a miskantu vychází pořád značně lépe než běžně dostupná dřevní štěpka. Dřevní štěpky je v dnešní době kůrovcové kalamity více než dost, ale do budoucna se dá očekávat nárůst její ceny. Při pěstování porostu po plnou dobu jeho životnosti by miskantus mohl dosahovat velice slibných hodnot ceny energie.

Oproti spalování hnědého uhlí se vyplatí pěstovat všechny zde zmíněné plodiny. Při špatném roce by se cena amarantu mohla přehoupnout přes cenu hnědého uhlí, ale dlouhodobě by se jeho pěstování mělo vyplatit též. Při očekávaném nárůstu ceny energií z dřevní štěpky a hnědého uhlí je pěstování energetické biomasy pro účely vlastního spalování jistě vhodnou volbou.

Výběr způsobu vytápění není závislý pouze na ceně paliva. Ano, při výběru cíleně pěstované biomasy jako zdroje energie dochází k úspoře peněz na palivu, ale váže se k tomu následný výběr kotle pro spalování biomasy a další technologie. Kotle na biomasu jsou investičně náročnější, co se jejich velikosti týče, je nutné řešit provozní problémy jako spékání paliva na teplosměnných plochách a vznik většího množství emisí než u spalování fosilních paliv.

Vyšší pořizovací náklady na celou technologii spalování biomasy nemusí být v rámci úspory na palivu návratné. Tato práce by se tedy dala rozšířit o technologický návrh kotle na spalování biomasy společně s vytvořením investičního plánu a určením doby návratnosti investice. Případně by se tento návrh dal porovnat s levnějším kotlem na zemní plyn.

## CITOVANÁ LITERATURA

- [1] SLADKÝ, Václav. *Fytopaliva - obnovující se zdroj energie: Teoretické základy* [online]. tzb-info.cz, 2001 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/658-fytopaliva-obnovujici-se-zdroj-energie-i>
- [2] SLADKÝ, Václav. *Křídlatka - perspektivní energetická plodina* [online]. Biom.cz [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120215160351/http://stary.biom.cz/biom/6/sladky.html>
- [3] *Křídlatky* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://invaznirosliny.ibot.cas.cz/druhy/kridlatky/>
- [4] HOUSKA, Jindřich. *REYNOUTRIA JAPONICA* Houtt: křídlatka japonská / pohánkovec japonský [online]. Botany.cz, 2007 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/reynoutria-japonica/>
- [5] JEŽKOVÁ, Edita: Laskavec (*Amaranthus* sp.). Biom.cz [online]. 2002-02-26 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/laskavec-amaranthus-sp>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] *Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Laskavec - Amarant* [online]. In: . Výzkumné energetické centrum: VŠB - Technická univerzita Ostrava [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/amarant.pdf>
- [7] *Druhy Amarantu: Výber Populárnych Odrôd* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://blabto.com/6853-types-of-amaranth-a-selection-of-popular-varieties.html>
- [8] STRAŠIL, Zdeněk. *Ozdobnice (miscanthus) jako energetická surovina* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://www.agritech.cz/clanky/2015-3-1.pdf>. Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i.
- [9] CZ Biom, : *Ozdobnice čínská*. Biom.cz [online]. 2011-07-31 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/ozdobnice-cinska>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] *Heritage Giant Miscanthus* [online]. Fox Hollow Farms, 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [https://heritagemiscanthus.com/miscanthus\\_giganteus.php](https://heritagemiscanthus.com/miscanthus_giganteus.php)
- [11] CELJAK, Ivo: *Pěstování topolů pro energetické účely – 1..* Biom.cz [online]. 2010-08-23 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-1>>. ISSN: 1801-2655.
- [12] ŠINKORA, Milan: *Topoly a vrby pro energetiku*. Biom.cz [online]. 2008-02-25 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/topoly-a-vrby-pro-energetiku>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: *Krmný šťovík - Rumex OK 2*. Biom.cz [online]. 2006-08-21 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/krmny-stovik-rumex-ok-2>>. ISSN: 1801-2655.
- [14] UŠŤAK, Sergej. *Pěstování a využití krmného šťovíku v podmínkách České republiky*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2007. ISBN 978-80-87011-26-3.
- [15] MOUDRÝ, Jan. *Energetické byliny* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, zemědělská fakulta [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energeticke\\_byliny.html](http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energeticke_byliny.html)



- [16] KONVALINA, Petr a Jan MOUDRÝ. *Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství: uplatněná metodika*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, zemědělská fakulta, 2008. ISBN 9788073941314.
- [17] TRNAVSKÝ, Jiří. *Kotle na spalování celých balíků biomasy* [online]. In: . [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.komunalweb.cz/kotle-na-spalovani-celych-baliku-biomasy/>
- [18] KOTECKÝ, Vojtěch: *Co se zbytkovou slámou z polí?*. Biom.cz [online]. 2019-06-25 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/co-se-zbytkovou-slamou-z-poli>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. *Rostliny pro energetické účely*. Česká energetická agentura, 1999.
- [20] CELJAK, Ivo: *Pěstování topolů pro energetické účely – 3*. Biom.cz [online]. 2010-09-06 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-3>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: *Nejnovější zkušenosti s pěstováním energetického šťovíku - Uteuša*. Biom.cz [online]. 2003-12-17 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nejnovejsi-zkusenosti-s-pestovanim-energetickeho-stoviku-uteusa>>. ISSN: 1801-2655.
- [22] CZ Biom, : *Rychle rostoucí dřeviny*. Biom.cz [online]. 2011-07-31 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rychle-rostouci-dreviny>>. ISSN: 1801-2655.
- [23] *Přehled energetických plodin, jejich vlastností a přepočty jednotek* [online]. tzb-info.cz [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickych-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocety-jednotek>
- [24] *Doporučené postupy pro sklizeň slámy* [online]. Praha: ATEA PRAHA, s.r.o. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://www.ateap.cz/dokumenty/sklizezn%20slamy%20pro%20vyrobu%20pelet.pdf>
- [25] BALÁŠ, Marek a Hugo ŠEN. *Negativní vlivy energetického využití biomasy – emise* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2006/05%20-%20Balas.pdf>
- [26] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, balance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, výzkumné energetické centrum, 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [27] PEŠKOVÁ, Michaela. *Emise NOx při spalování biomasy*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Matěj Vodička.
- [28] STŘEDA, Tomáš a Zdeněk STRAŠIL. *Pěstování rostlin pro nepotravinářské účely: speciální část*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2014. ISBN 978-80-7509-005-8.
- [29] MOUDRÝ, Jan. *Topol (Populus L.)* [online]. 2002 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Topol.htm>
- [30] PROCHÁZKA, Tomáš. *Hnojení a typy při pěstování pšenice (zejména ozimé)* [online]. eagronom.cz [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://eagronom.com/cs/blog/hnojeni-a-tipy/>

- [31] SOUČEK, Jiří. *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-31-8.
- [32] *Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy: Šťovík krmný* [online]. Výzkumné energetické centrum: VŠB - Technická univerzita Ostrava [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/stovik.pdf>
- [33] *Stavební tabulky TZB - vytápění* [online]. tzb-info.cz [cit. 2021-05-05]. ISBN 80-239-3447-3. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/117-objemove-hmotnosti-paliv-ze-dreva>

## **SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Symbol</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
pH	Kyselost půdy	[–]

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Křídlatka japonská .....	12
Obr. 2 Amarant ocasatý a červenoklasý .....	13
Obr. 3 Miscanthus x giganteus .....	14
Obr. 4 Rašící výhon topolu a topoly vysazené do dvojřad .....	15
Obr. 5 Porost energetického šťovíku Rumex OK 2 .....	16
Obr. 6 Pšeničná sláma .....	17
Obr. 7 Řezanka miskantu a křídlatky .....	48

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Hodnoty predikcí výnosů v [t/ha] .....	19
Tab. 2 Hodnoty reálných predikcí výnosů z hektaru a výhřevností paliv.....	20
Tab. 3 Predikce energetických výnosů při proměnném výnosu a výhřevnosti.....	24
Tab. 4 Porovnání nákladů na pěstování biomasy z energetických bylin .....	38
Tab. 5 Porovnání výsledných cen jednotky energie.....	40
Tab. 6 Použité charakteristické hodnoty běžně dostupných paliv .....	48
Tab. 7 Porovnání ceny energie z fytopaliv s ostatními palivy .....	55

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Porovnání předběžných odhadů výnosů v [t/ha] .....	18
Graf 2 Porovnání predikovaných výhřevností paliv .....	20
Graf 3 Porovnání energetické výnosnosti při proměnném výnosu sušiny .....	21
Graf 4 Změna výnosu energie při proměnném výnosu sušiny i proměnné výhřevnosti .....	22
Graf 5 Energetická výnosnost plodin při změně výnosu sušiny a výhřevnosti o 10 %..	23
Graf 6 Predikce výnosu sušiny v intervalu 20 let .....	25
Graf 7 Predikce výnosu sušiny v intervalu od 10 do 20 let .....	26
Graf 8 Cena jednotka energie při uvažování rozptylu výnosu .....	41
Graf 9 Porovnání změny výnosů oproti rešeršním hodnotám .....	42
Graf 10 Porovnání změny ceny energie oproti rešeršním hodnotám .....	43
Graf 11 Rozdělení celkových nákladů na vypěstování 1 ha.....	44
Graf 12 Časový průběh ceny vypěstování 1 ha .....	45
Graf 13 Porovnání nákladů na vypěstování 1 ha řezanky .....	46
Graf 14 Porovnání ceny energie v briketách a peletách oproti řezance .....	47
Graf 15 Porovnání ceny pelet z biomasy a jiných běžně dostupných paliv .....	49
Graf 16 Porovnání ceny energie v řezance .....	50
Graf 17 Porovnání ceny energie z řezanky při změně výnosu o 10 % .....	51
Graf 18 Určení mezních hodnot výnosů v porovnání s cenou hnědého uhlí.....	52
Graf 19 Ekonomika pěstování amarantu při prodeji semen .....	53



## PŘÍLOHY



*Příloha 1 Rhizomy křídlatky pro sadbu*



*Příloha 2 Vzrostlý porost miskantu*





*Příloha 3 Znáznornění výšky porostu miskantu*